

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

Інститут енергозбереження та енергоменеджменту  
Кафедра теплотехніки та енергозбереження

«На правах рукопису»  
УДК 620.92

«До захисту допущено»  
Завідувач кафедри  
В.І.Дешко  
(підпис) (ініціали, прізвище)  
“ ” 2018 р.

## Магістерська дисертація

зі спеціальності (спеціалізації) 144 Теплоенергетика. Енергетичний менеджмент та інжиніринг

на тему: «Використання теплового насосу для підвищення рівня енергоефективності спеціалізованої школи І ступеня № 324»

Виконала: студентка VI курсу, групи ОТ – 71мп  
(шифр групи)

Кривуца Аліса Сергіївна

(прізвище, ім'я, по батькові)

(підпис)

Науковий керівник доцент, к.т.н., доцент Дубровська В.В.  
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) (підпис)

Консультанти:

Електротехнічна частина доцент, к.т.н., доцент Замулко А.І.  
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали) (підпис)

Нормоконтроль доцент, к.т.н., доцент Шкляр В.І.  
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали) (підпис)

Рецензент \_\_\_\_\_  
(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали) (підпис)

Рецензент \_\_\_\_\_  
(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали) (підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації  
немає запозичень з праць інших авторів без  
відповідних посилань.

Студент \_\_\_\_\_  
(підпис)

Київ – 2018 року

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут  
імені Ігоря Сікорського»

Інститут Інститут енергозбереження та енергоменеджменту

Кафедра Теплотехніки та енергозбереження

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо-професійною програмою

Спеціальність (спеціалізація) **144 Теплоенергетика. Енергетичний менеджмент та інжиніринг**

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ В.І. Дешко  
(підпис) (ініціали, прізвище)

« 01 » вересня 2018 р.

**ЗАВДАННЯ**  
**на магістерську дисертацію студенту**

Кривуци Аліси Сергіївни

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації : Використання теплового насосу для підвищення рівня енергоефективності спеціалізованої школи I ступеня № 324 ,

науковий керівник дисертації к.т.н., доц. Дубровська В.В. \_\_\_\_\_ ,  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «05» листопада 2018 р. № 4089-с

2. Строк подання студентом дисертації « 15 » грудня 2018 р.

3. Об'єкт дослідження система енергозабезпечення спеціалізованої школи I ступеня № 324

4. Предмет дослідження (Вихідні дані): споживання теплової енергії – 640,32 Гкал, електричної енергії - 83894 кВт·год та води – 7193,38 м<sup>3</sup>, кількість працюючих n – 690 чоловік, висота будівлі h – 12 м.

5. Перелік завдань, які потрібно розробити:

а) теплова частина: розрахунок тепловтрат та теплонадходжень різними методами, рекомендації до запровадження заходів з енергозбереження.

б) електрична частина: аналіз споживачів електричної енергії школи, побудова балансів споживання енергоресурсів, запровадження заходів з енергозбереження.

- в) спеціальна частина модернізація системи теплопостачання школи №324 за рахунок впровадження теплового насосу.
- г) енергетичний менеджмент розрахунок раціонального використання паливно-енергетичних ресурсів у школі.
- д) стартап-проект щодо впровадження теплового насосу у школі, аналіз різних факторів впливу на запровадження проекту.
6. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу схема тепловпункту школи, електрична схема, спеціальне питання, схема плану об'єкта.
7. Орієнтовний перелік публікацій: тези доповіді на конференцію

#### 8. Консультанти розділів дисертації

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Електрична частина	доц. Замулко А.І.		
Нормоконтроль	доц. Шкляр В.І.		

#### 9. Дата видачі завдання 01.09. 2018 р.

#### Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Строки виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1.	Загальна характеристика об'єкту	29.10 - 17.11. 2018	
2.	Розрахунок теплотехнічної частини	01.11 - 10.12. 2018	
3.	Розрахунок електротехнічної частини	01.11 - 10.12. 2018	
4.	Спеціальна частина	01.11 - 10.12. 2018	
5.	Енергетичний менеджмент	01.11 - 10.12. 2018	
6.	Стартап-проект	01.11 - 10.12. 2018	
7.	Підготовка графічного матеріалу	01.11 - 10.12. 2018	
8.	<b>Нормоконтроль</b>	03.12 - 13.12. 2018	
9.	<b>Попередній захист</b>	10.12 - 14.12. 2018	
10.	<b>Захист магістерської дисертації</b>	17.12 - 21.12. 2018	

Студент

\_\_\_\_\_  
(підпис)

А.С. Кривуца  
(ініціали, прізвище)

Науковий керівник дисертації

\_\_\_\_\_  
(підпис)

В.В. Дубровська  
(ініціали, прізвище)

## РЕФЕРАТ

Магістерська дисертація на тему «Використання теплового насосу для підвищення рівня енергоефективності спеціалізованої школи I ступеня № 324» складається з 129 сторінок, 25 рисунків, 57 таблиць, а також містить 20 джерел в переліку посилань.

**Актуальність теми.** У зв'язку з високими тарифами на теплову енергію, все більш актуальною стає тема енергозбереження. Особливо це стосується великих організацій та бюджетних установ, де споживання даних енергоресурсів є суттєвим. У XXI сторіччі стрімко розвивається використання поновлюваних джерел енергії, а саме енергія вітру, води, геотермальна енергія та енергія Сонця. Запровадження методів з енергозбереження та впровадження поновлювальних джерел енергії дозволить зменшити рівень використання ПЕР.

**Метою роботи** є зменшення витрат на теплову та електричну енергію за рахунок засобів з енергозбереження.

Для досягнення зазначеної мети були вирішені наступні завдання:

1. аналіз та дослідження сучасних заходів з підвищення рівня енергоефективності школи;
2. енергетичне обстеження системи теплопостачання та електропостачання на об'єкті;
3. розрахунок параметрів системи теплопостачання;
4. оцінка рівня енергоефективності системи енергопостачання;
5. підвищення рівня енергоефективності системи енергопостачання за рахунок термоізоляції та шляхом встановлення теплового насосу;
6. розроблення стартап-проекту щодо впровадження використання теплового насосу.

**Завдання дослідження** – аналіз системи енергопостачання з метою підвищення її ефективності на прикладі спеціалізованої школи I ступеня № 324.

**Об'єктом дослідження** магістерської дисертації є система енергопостачання спеціалізованої школи I ступеня №324.

**Предмет дослідження** – методи та заходи покращення енергоефективності використання теплової та електричної енергії в об'єкті.

**Наукова новизна** магістерської дисертації полягає в обґрунтуванні вибору теплового насосу для системи енергопостачання.

**Апробація результатів роботи** відбулася на I Науково-технічній конференції магістрантів ІЕЕ, присвяченій 120-річчю КПІ ім. Ігоря Сікорського 22 листопада 2018 року.

**Публікації:** доповідь, що опублікована в збірнику матеріалів I Науково-технічної конференції магістрантів ІЕЕ, присвячена 120-річчю КПІ ім. Ігоря Сікорського 22 листопада 2018 року.

**Ключові слова:** енергозбереження; підвищення рівня енергоефективності; енергетичні ресурси; енергетичний аудит та менеджмент; енергоефективність; методи енергозбереження, тепловий насос.

## **ABSTRACT**

The master's dissertation "Analysis of the efficiency of passive systems of solar energy" consists of 108 pages, 54 figures, 15 tables, and also contains 38 sources in the list of references.

Actuality of theme. Due to high tariffs for heat energy, the topic of energy saving becomes more and more relevant. This is especially true for large organizations and budget institutions, where energy data consumption is significant. In the 21st century, the use of renewable energy sources, namely wind, water, geothermal energy and solar energy, is rapidly developing. The introduction of methods for energy conservation and the introduction of renewable energy sources will reduce the level of use of FER.

The aim of the work is to reduce the cost of thermal and electric energy at the expense of energy saving.

To achieve this goal, the following tasks were solved:

1. analysis and research of modern school energy efficiency measures;
2. energy survey of the system of heat supply and electricity supply at the facility;
3. calculation of the parameters of the heating system;
4. estimation of the energy efficiency level of the energy supply system;
5. increasing the energy efficiency of the energy supply system by means of thermal insulation and by installing a heat pump;
6. development of a startup project on the implementation of the use of a heat pump.

The task of the research is to analyze the energy supply system in order to increase its efficiency on the example of the specialized school of the I degree number 324. The object of research of this master's thesis is the specialized school of the I degree №324.

The object of the research of the master's thesis is the system of energy supply of the specialized school of the I degree number 324.

The subject of research – methods and measures to improve the energy efficiency of the use of thermal and electric energy in the facility.

The scientific novelty of the master's dissertation is to substantiate the choice of a heat pump for the power supply system.

Approval of the results of work took place at the I Scientific and Technical Conference of CEE Masters, devoted to the 120th anniversary of the KPI to them. Igor Sikorsky November 22, 2018

Publications: a report published in the collection of materials I of the Scientific and Technical Conference of CEE Masters, devoted to the 120th anniversary of the KPI to them. Igor Sikorsky on November 22, 2018.

**Keywords:** energy saving; increase of energy efficiency; energy resources; energy audit and management; energy efficiency; energy saving methods, heat pump.

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	8
1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ОБ'ЄКТ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	10
1.1 Призначення та характеристика будівлі.....	10
1.2 Річне споживання енергоносіїв.....	11
Висновки до розділу.....	19
2 ТЕПЛОТЕХНІЧНА ЧАСТИНА.....	20
2.1 Обстеження огорожувальних конструкцій.....	20
2.2 Тепловтрати через огорожувальні конструкції.....	25
2.3 Розрахунок додаткових тепловтрат через огорожувальні конструкції .....	30
2.4 Розрахунок теплового навантаження будівлі за збільшеними показниками.....	38
2.5 Розрахунок теплового навантаження будівлі за нормативним методом.....	39
2.6 Перелік можливих енергозберігаючих заходів для впровадження на об'єкті.....	63
Висновки до розділу.....	71
3 ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНА ЧАСТИНА.....	73
3.1 Опис схеми зовнішнього електропостачання об'єкта.....	73
3.2 Опис схеми внутрішнього електропостачання об'єкта.....	73
3.3 Характеристика основних споживачів електроенергії об'єкта.....	75
3.4 Розрахунок електричних навантажень об'єкту.....	79
3.5 Баланс річного споживання активної та реактивної енергії.....	88
3.6 Аналіз динаміки тарифів на електроенергію.....	90
3.7 Заходи з енергозбереження.....	92
Висновки до розділу.....	100
4 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА. Використання теплового насосу для підвищення рівня енергоефективності спеціалізованої школи I ступеня № 324.....	101
4.1 Літературний огляд, постановка задачі.....	101



4.2	Теоретичні відомості щодо методики визначення характеристик, моделей та обґрунтування проекту .....	101
4.3	Аналіз використання ТН за допомогою програмного забезпечення RETScreen .....	110
	Висновки до розділу.....	113
5	ЕНЕРГОМЕНЕДЖМЕНТ ТА МОНІТОРИНГ .....	115
5.1	Поточний стан.....	115
5.2	Опис заходу.....	115
5.3	Річна економія енергії при впровадженні заходів.....	115
5.4	Річна економія ресурсів при впровадженні заходів.....	116
5.5	Визначення витрат на введення даного проекту.....	116
5.6	Економічна оцінка проекту.....	117
	Висновки до розділу.....	117
6	СТАРТАП-ПРОЕКТ. Використання теплового насоса для підвищення рівня ефективності школи .....	118
	ВИСНОВКИ .....	124
	ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....	126

## ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ ТА ТЕРМІНІВ

### СКОРОЧЕННЯ

РК – районна котельня;  
ЕП – електроприймач;  
ТП – трансформаторна підстанція;  
ГВП – гаряче водопостачання;  
ККД – коефіцієнт корисної дії;  
ТН – тепловий насос;  
ЕМ – енергетичний менеджмент.

### УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ

$B$  – витрата палива;  
 $Q$  – теплота;  
 $Q^P_H$  – нижча робоча теплота згорання палива;  
 $q_0$  – питома опалювальна характеристика будівлі;  
 $t_{вн}$  – внутрішня температура;  
 $t_{p.o}$  – розрахункова температура на опалення;  
 $\delta$  – товщина;  
 $\lambda$  – коефіцієнт теплопровідності.

### ІНДЕКСИ

$b$  – базовий;  
 $вн$  – внутрішній;  
 $з$  – зовнішній.

### ТЕРМІНИ

*Тепловий насос* – пристрій для переносу теплової енергії від джерела низькопотенційної теплової енергії до споживача з більш високою температурою.

## ВСТУП

На сьогоднішній день проблема енергозбереження в Україні є актуальною. Метою діяльності у цій сфері є забезпечення раціонального використання паливно-енергетичних ресурсів при існуючому рівні розвитку техніки та технологій.

В основі енергозбереження лежать наступні причини:

- енергозабезпечення пов'язане з величезними фінансовими, матеріальними і трудовими затратами;
- видобуток, виробництво, транспортування і споживання паливно – енергетичних послуг чинять негативний вплив на навколишнє середовище;
- збільшення об'єму споживання енергоресурсів підприємством викликає збільшення вартості продукції, що випускається, а, отже, зниження її конкурентоспроможності на ринку.

Вибір основних напрямів діяльності в області енергозбереження, а також розробка і впровадження енергозберігаючих заходів для будь-якого об'єкта можливі тільки на основі аналізу фактичного стану ефективності використання паливно-енергетичних ресурсів (ПЕР), визначення потенціалу енергозбереження з урахуванням умов функціонування об'єктів різного призначення. Такі дані можна отримати декількома способами, проте найбільш повними і об'єктивними є результати, отримані в ході проведення енергетичних обстежень (енергоаудиту) підприємств.

### Актуальність теми

У зв'язку з високими тарифами на теплову енергію, все більш актуальною стає тема енергозбереження. Особливо це стосується великих організацій та бюджетних установ, де споживання даних енергоресурсів є суттєвим. У ХХІ сторіччі стрімко розвивається використання поновлюваних джерел енергії, а саме енергія вітру, води, геотермальна енергія та енергія Сонця. Так, наприклад, у м. Києві було відкрито першу в Україні енергоефективну та «розумну» школу [1]. Обігрів об'єкту відбувається за рахунок встановлених геотермальних теплових насосів, які, використовуючи енергію Землі, здатні повністю забезпечити школу теплотою та зробити її автономною, тобто незалежною від централізованої системи опалення.

Рациональне використання енергії, скорочення споживання енергоносіїв, а також застосування технологій, що не завдають шкоди навколишньому середовищу, становлять собою важливі інструменти в сфері охорони навколишнього середовища. Істотна роль в зниженні рівня екологічного забруднення від використання традиційних видів палива належить розширенню застосування відновлюваних джерел енергії.

До теперішнього часу потенціал відновлюваних джерел енергії використовується в невеликих обсягах, як в нашій країні, так і в усьому світі. Ще більш актуальною ця тема стає в зв'язку з світовою фінансовою кризою, яка змусила багатьох переглянути свої погляди і плани на питання енергозабезпечення.

## 1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ОБ'ЄКТ ДОСЛІДЖЕННЯ

Об'єктом магістерської дисертації є спеціалізована школа І ступеня №324, яка знаходиться на вулиці Лебедєва - Кумача , 8, у м. Києві.

### 1.1 Призначення та характеристика будівлі

Існуюча будівля чотириповерхова та має складну будову.

Школа збудована в 1955 році.

Фундамент – стрічковий, виконаний з бетону .

Зовнішні стіни виконані з цегли товщиною 640 мм та цементно-піщаної штукатурки, яка знаходиться зовні та всередині будівлі з товщиною 25 мм та 35 мм відповідно. Зовнішня стіна вкрита облицювальною плитку з товщиною 7 мм.

Покрівля – плоска, вкрита плитами .

Вікна – дерев'яні з роздільними переплетами та металопластикові.

Дерев'яні вікна з загальною кількістю – 72 шт., з яких:

- 60 шт. з площею 1,68x1,96 м;
- 4 шт. з площею 1,68x3,92 м;
- 8 шт. з площею 1,2x1,68 м.

Загальна площа дерев'яних вікон складас – 239,66 м<sup>2</sup>.

Металопластикові вікна з загальною кількістю – 117 шт., з яких:

- 24 шт з площею 3,36x1,96 м;
- 93 шт з площею 1,68x1,54 м.

Площа металопластикових вікон – 397,99 м<sup>2</sup>.

Загальна площа вікон – 637,65 м<sup>2</sup>.

Двері у школі металеві та металопластикові.

Вхідні двері металеві та мають площу – 2,88x4,2 м.

Кількість металопластикових дверей – 5 шт. з площею 2,64x1,54 м.

Загальна площа дверей – 32,416 м<sup>2</sup>.

Водовідлив з покрівлі – зовнішній, у задовільному стані.

Довжина будівлі – 41,79 м.

Зовнішня східна та західна частина будівлі – 53,9 м.

Внутрішня східна та західна частина будівлі – 43,9 м.

Висота будівлі – 12 м.

Будівля опалюється від центральної теплової мережі через індивідуальний тепловий пункт, що розташований в підвальному приміщенні школи, що не опалюється. Загальна площа приміщення індивідуального теплового пункту становить – 50,4 м<sup>2</sup>. В індивідуальному тепловому пункті встановлено вузол обліку теплової енергії.

Індивідуальний тепловий пункт не регулюється в залежності від температури навколишнього середовища.

Середня кількість учнів на час проведення аудиту складає 590 осіб.

Всього в школі орієнтовно 690 чоловік.

Кількість працюючого персоналу 60 осіб.

Режим роботи школи:

навчання розпочинається о 8.45 та закінчується о 14.00.

З 14.00 – 18.00 працюють гуртки.

В вечірні та нічні години, з 18.00 до 8.00, у школі несуть варту чергові охоронці.

## **1.2 Річне споживання енергоносіїв**

Споживання електричної енергії протягом трьох років наведено у таблиці 1.1.

Динаміка зміни споживання електричної енергії зображена на рисунку 1.1

Таблиця 1.1 – Статистика споживання електричної енергії за 2015-2017 роки

Електроенергія						
місяць	2015		2016		2017	
	кВт·год	грн	кВт·год	грн	кВт·год	грн
Січень	5162	1,30	7737	1,49	10016	1,76
Лютий	9754	1,30	6219	1,49	12011	1,76
Березень	6841	1,36	7855	1,49	8246	1,75
Квітень	3748	1,43	4390	1,49	5700	1,73
Травень	4132	1,43	4797	1,56	5181	1,74
Червень	1775	1,50	1953	1,56	2110	1,74
Липень	623	1,58	664	1,72	929	1,76
Серпень	536	1,53	680	1,71	1058	1,75
Вересень	2431	1,50	2465	1,71	3371	1,75
Жовтень	4657	1,48	7727	1,88	8463	1,74
Листопад	8464	1,48	8417	1,88	11802	1,73
Грудень	8667	1,48	12122	1,88	15007	1,75
<b>Разом</b>	<b>56790</b>		<b>65026</b>		<b>83894</b>	

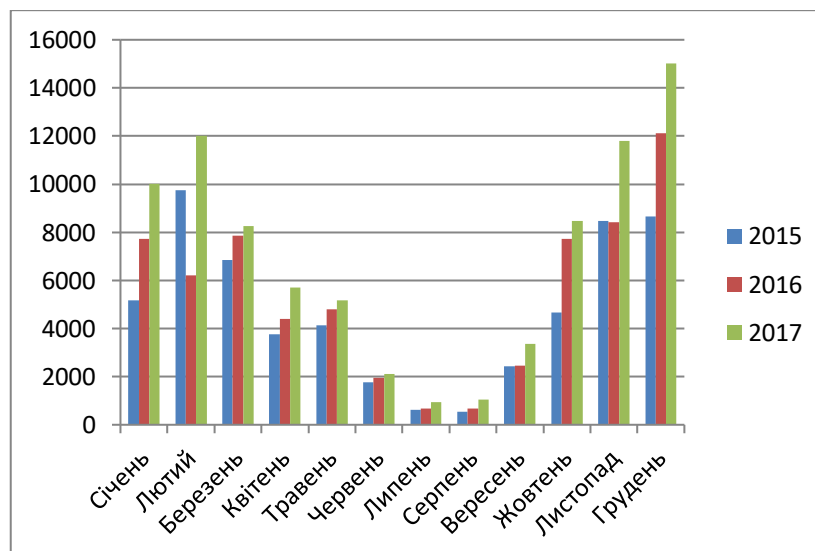


Рисунок 1.1 – Динаміка зміни споживання електричної енергії за 2015-2017 роки

Як видно з графіку, споживання електроенергії нерівномірне протягом року. Це пояснюється тим, що тривалість світлового дня взимку та восени менша і тому більше часу використовується штучне освітлення.

У липні та серпні – найменше споживання, тому що в школі в цей час канікули і багато електрообладнання не використовується, а також майже не використовується освітлення. В середньому за останні 3 роки школа споживала, майже однакову кількість електроенергії. Але можемо відзначити, що в період з листопада по лютий 2017 року споживання було значно більшим в порівнянні з попередніми роками. Це може бути обумовлено погодними умовами, наприклад, в дані місяці було менше сонячних днів, ніж в інших роках та недостатнім опаленням, у зв'язку з чим була необхідність користування додатковим обладнанням для обігріву.

У таблиці 1.2 наведено статистику споживання теплової енергії за 3 роки.

Таблиця 1.2 – Статистика споживання теплової енергії за 2015-2017 роки

Теплова енергія						
місяць	2015		2016		2017	
	Гкал	грн./Гкал	Гкал	грн./Гкал	Гкал	грн./Гкал
Січень	136,758	630,33	137,055	591,24	126,997	1 689,61
Лютий	119,27	630,33	120,759	671,77	118,248	1 383,54
Березень	92,7475	630,33	101,669	671,77	94,843	1 383,54
Квітень	33,4656	876,79	37,7032	671,77	32,417	1 383,54
Травень		790,01		671,77		1 383,54
Червень		790,01		671,77		1 383,54
Липень		790,01		718,95		1 383,54
Серпень		790,01		718,95		1 328,34
Вересень		790,01		718,95		1 328,34
Жовтень	48,33	790,01	28,1961	718,95	61,974	1 328,34
Листопад	86,4744	760,14	96,5501	718,95	87,509	1 328,34
Грудень	117,562	760,14	122,68	718,95	118,328	1 689,61
<b>Разом</b>	<b>634,6</b>		<b>644,61</b>		<b>640,32</b>	



Динаміка зміни споживання теплової енергії зображена на рисунку 1.2.

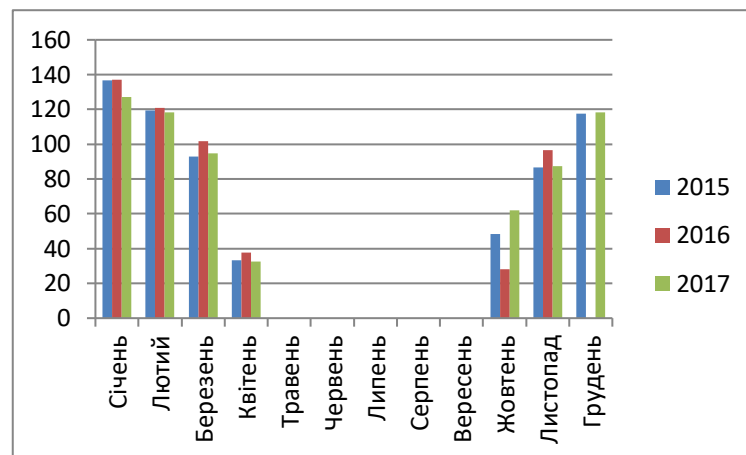


Рисунок 1.2 – Динаміка зміни споживання теплової енергії за 2015-2017 роки

Споживання теплової енергії школою відбувається тільки під час опалювального сезону, в інший час теплове навантаження дорівнює нулю. Найбільша кількість теплової енергії споживається в зимові місяці як в найхолодніший час. У весняні та осінні місяці споживання теплоти менше, ніж в зимові. В опалювальному сезоні найменше споживання припадає на квітень та жовтень, оскільки в ці місяці будівлею споживається тепла енергія по 15 діб. У таблиці 1.3 наведено статистику споживання води за 3 роки.

Таблиця 1.3 – Статистика споживання води за 2015-2017 роки

Споживання води						
місяць	2015		2016		2017	
	м <sup>3</sup>	грн./ м <sup>3</sup>	м <sup>3</sup>	грн./ м <sup>3</sup>	м <sup>3</sup>	грн./ м <sup>3</sup>
1	2	3	4	5	6	7
Січень	534,57	7,46	510,5	10,24	528,39	12,348
Лютий	626,2	7,46	678,12	10,24	597,62	12,348
Березень	771	7,46	667,1	10,24	779,39	12,348
Квітень	749,2	7,46	649	10,24	770,29	12,348
Травень	564,9	10,24	587,1	10,24	702,17	12,348
Червень	404	10,24	396,8	10,24	429,80	14,208
Липень	337,73	10,24	325,7	10,24	445,55	14,208
Серпень	261,19	10,24	324,82	12,348	253,76	14,208

Продовження таблиці 1.3

1	2	3	4	5	6	7
Вересень	628,46	10,24	676,52	12,348	518,03	14,208
Жовтень	679,8	10,24	754	12,348	768,302	14,208
Листопад	834,96	10,24	846,12	12,348	665,04	14,208
Грудень	852,7	10,24	874,62	12,348	735,04	12,348
<b>Разом</b>	<b>7244,71</b>		<b>7290,4</b>		<b>7193,38</b>	

Статистика споживання води за 3 роки представлена на рисунку 1.3.

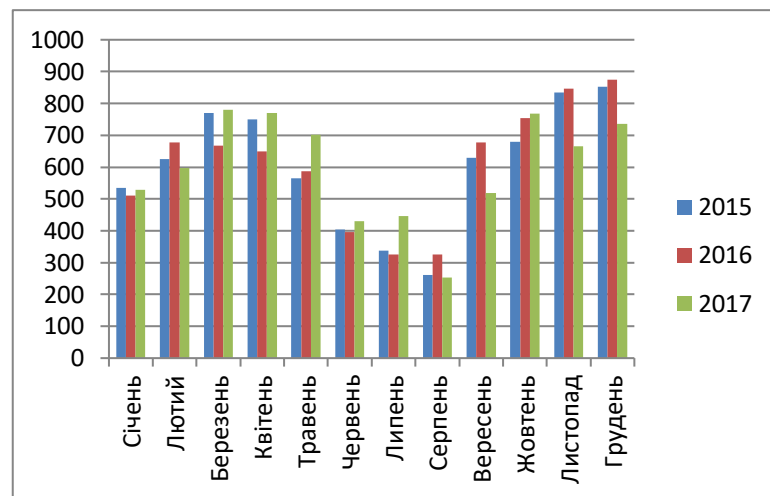


Рисунок 1.3 – Динаміка зміни споживання води за 2015-2017 роки

Отже, мінімальне споживання води, спостерігається у літній період, тому що у цей час не проводяться уроки, режим роботи школи скорочується і вода майже не використовується. В інші періоди, а саме по роках, спостерігається рівномірне використання води.

### Структура споживання і оплати енергоносіїв

Співвідношення споживання різних енергоносіїв представимо в таблиці 1.4.

Таблиця 1.4 – Структура споживання енергоносіїв.

	2015		2016		2017	
	грн	нат.од. (кВт)	грн	нат.од. (кВт)	грн	нат.од. (кВт)
Електрична енергія	61379,1	56790	83900,45	65026	86801,84	83894
Теплова енергія	68687,3	73803	70749,7	74968	77926,5	74469
Вода (м <sup>3</sup> )	24395,6	7244,71	18801,7	7290,4	17069,61	7193,38

Представимо діаграму споживання електричної та теплової енергії за 2017 рік у відсотковому співвідношенні на рисунку 1.4 та діаграму фінансових витрат, що йдуть на оплату за споживання цих енергоносіїв на рисунку 1.5.



Рисунок 1.4 – Структура споживання електричної, теплової енергії у натуральних одиницях їх споживання у 2017 році

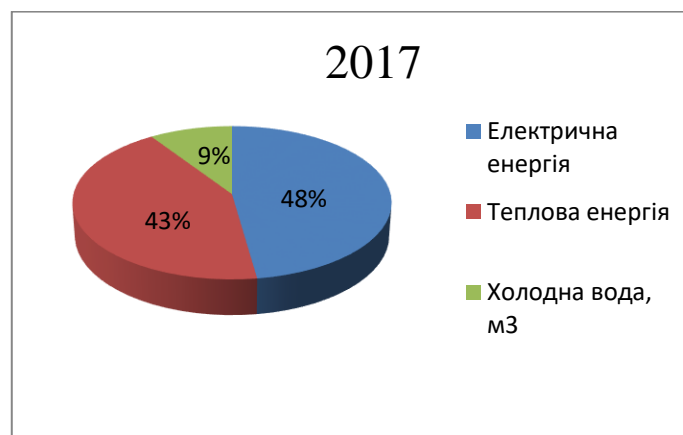


Рисунок 1.5 – Структура споживання електричної, теплової енергій і води в грошовому відношенні у відсотках їх споживання у 2017 році

Представимо діаграму споживання електричної та теплової енергії за 2016 рік у відсотковому співвідношенні на рисунку 1.6 та діаграму фінансових витрат, що йдуть на оплату за споживання цих енергоносіїв на рисунку 1.7.

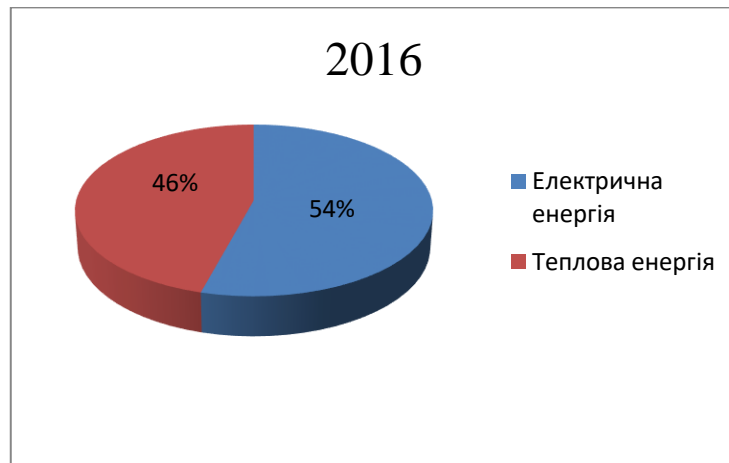


Рисунок 1.6 – Структура споживання електричної, теплової енергії у натуральних одиницях їх споживання у 2016 році

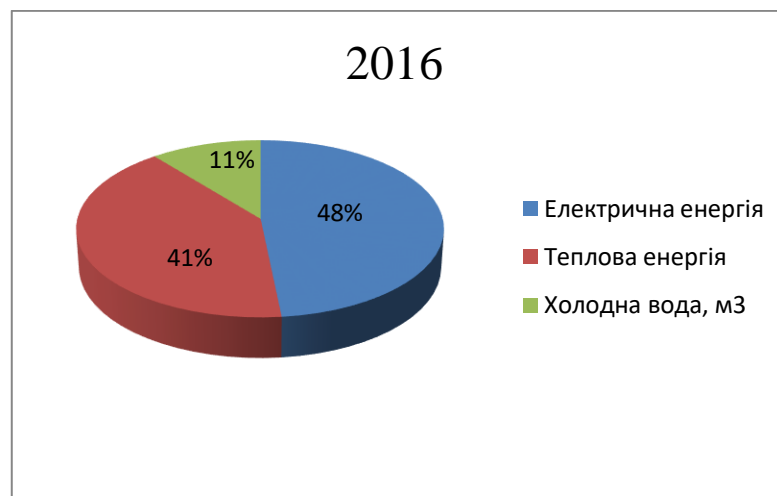


Рисунок 1.7 – Структура споживання електричної, теплової енергій і води в грошовому відношенні у відсотках їх споживання у 2016 році

Представимо діаграму споживання електричної та теплової енергії за 2015 рік у відсотковому співвідношенні на рисунку 1.8 та діаграму фінансових витрат, що йдуть на оплату за споживання цих енергоносіїв на рисунку 1.9.

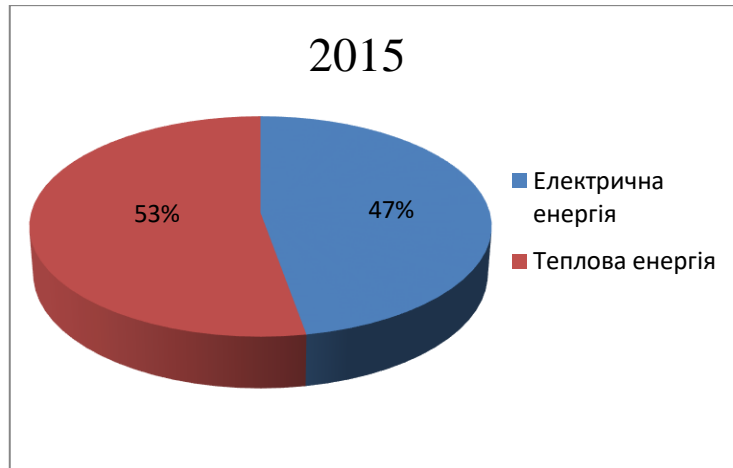


Рисунок 1.8 – Структура споживання електричної, теплової енергії у натуральних одиницях відсотках їх споживання у 2015 році

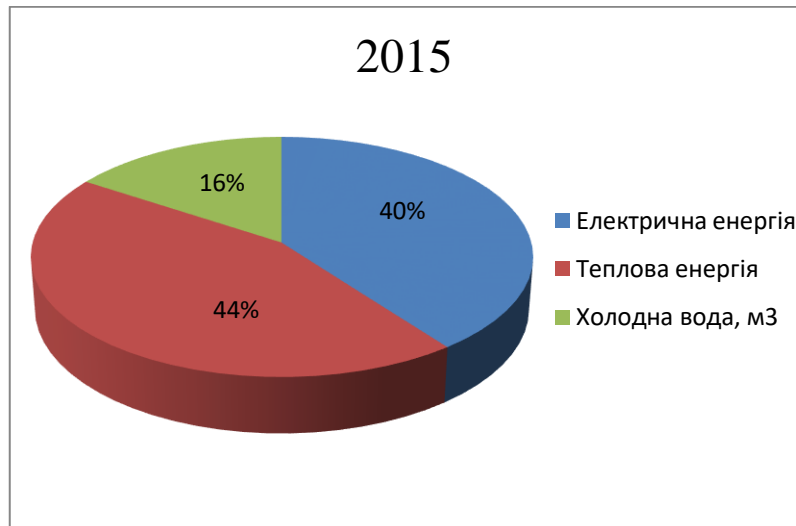


Рисунок 1.9 – Структура споживання електричної, теплової енергій і води в грошовому відношенні у відсотках їх споживання у 2015 році

Як видно з кругових діаграм частка електричної енергії в порівнянні з тепловою енергією у 2016 та 2017 році значна. Це пояснюється тим, що електричну енергію ми використовуємо цілий рік, а теплову енергію переважно в опалювальний період. У 2015 році споживання теплової та електричної енергії приблизно однакова. Це можна пояснити тим, що у даний рік було значно менше електроприладів, порівняно з іншими роками та гарне опалення будівлі.

## Висновки до розділу

За статистичними даними по споживанню теплової, електричної енергії та води, наданими Солом'янською адміністрацією, на сьогоднішній день школа спожила теплової енергії – 640,32 Гкал, електричної енергії – 83894 кВт·год та води – 7193,38 м<sup>3</sup>.

Аналіз споживання енергоносіїв показав:

1. електроенергія найбільше використовувалась у 2017 році, що може бути обумовлено погодними умовами або недостатнім опаленням та низькою температурою в приміщеннях школи, у зв'язку з чим була необхідність використовувати додаткове обладнання для обігріву;
2. споживання теплової енергії за останні три роки приблизно однакове та використовується лише під час опалювального періоду.
3. споживання води у 2017 році склало – 7193,38 м<sup>3</sup> та спостерігається її рівномірне використання. У літні місяці використання води зменшується, що пояснюється відсутністю уроків та скороченням режиму роботи школи.

## 2 ТЕПЛОТЕХНІЧНА ЧАСТИНА

### 2.1 Обстеження огорожувальних конструкцій будівлі

Кліматичні умови для м. Києва наведено у таблиці 2.1 [2].

Таблиця 2.1 – Кліматичні умови для м. Києва

Розрахункова температура внутрішнього повітря	$t_{\text{в}}$	+21°C
Відносна вологість	$\varphi_{\text{в}}$	50%
Вологісний режим приміщень		нормальний
Температурна зона		I
Середня температура повітря протягом опалювального періоду	$t_{\text{з,сеп.}}$	-0,1°C
Температура зовнішня в найхолоднішу п'ятиденку	$t_{\text{з}}$	-22 °C

#### Зовнішні стіни школи.

Матеріали з яких виготовлена стіна школи наведено у таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Матеріали з яких виготовлена стіна школи

№ шару	Найменування матеріалу	Розрахункові характеристики	
		$\lambda$ Вт/м·К	$\delta$ м
1	Цегла на глиняному розчині	0,81	0,64
2	Зовнішня цементно-піщана штукатурка	1,2	0,025
3	Внутрішня цементно-піщана штукатурка	1,2	0,035
4	Зовнішня облицювальна плитка	1,1	0,007

Опір теплопередачі стіни розраховується за формулою:

$$R_{\Sigma} = \frac{1}{\alpha_{\text{в}}} + \sum_{i=1}^n R_i + \frac{1}{\alpha_{\text{з}}} = \frac{1}{\alpha_{\text{в}}} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_{\text{з}}},$$

де  $\alpha_{\text{в}}$  – коефіцієнт тепловіддачі внутрішньої поверхні огорожувальної конструкції, дорівнює  $8,7 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ , [2];

$\alpha_{\text{з}}$  – коефіцієнт тепловіддачі зовнішньої поверхні огорожувальної конструкції, дорівнює  $23 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ , [2];

$R_i$  – термічний опір шарів конструкції, який розраховується за формулою :

$$\sum_{i=1}^n R_i = \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i},$$

де:  $\lambda_i$  – коефіцієнт теплопровідності  $i$ -го шару,  $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ ;

$\delta_i$  – товщина  $i$ -го шару, м.

Таким чином, термічний опір зовнішньої стіни складає:

$$R_{\Sigma} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,64}{0,81} + \frac{0,025}{1,2} + \frac{0,035}{1,2} + \frac{0,007}{1,1} + \frac{1}{23} = 0,99 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}}.$$

Мінімально допустиме значення опору теплопередачі непрозорі огорожувальної конструкції  $R_{q \min} = 3,3 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$ , [2], тому:

$$R_{\Sigma} = 0,99 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}} < R_{q \min} = 3,3 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}}.$$

Так як  $R_{\Sigma} < R_{q \min}$ , то теплозахисні властивості зовнішніх огорожень у незадовільному стані, що вимагає впровадження енергозберігаючих засобів щодо збільшення їх опору теплопередачі.

Коефіцієнт теплопередачі стіни знаходимо за формулою:

$$k_{\text{стіни}} = \frac{1}{R_{\text{стіни}}},$$

а для нашого випадку, коефіцієнт теплопередачі складає:

$$k_{\text{стіни}} = \frac{1}{0,99} = 1,01 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}.$$

### **Вікна школи.**

Вікна у будівлі – дерев'яні та металопластикові. Опір теплопередачі дерев'яних вікон  $R_{\text{вікна}} = R_{\Sigma} = 0,45 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$ .

Опір теплопередачі металопластикових вікон:  $R_{\text{вікна}} = R_{\Sigma} = 0,60 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$ .



Мінімально допустиме значення опору теплопередачі вікна  $R_{q \min} = 0,75 \text{ м}^2 \cdot \text{К} / \text{Вт}$ , тому:

**дерев'яні вікна:**

$$R_{\Sigma} = 0,45 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}} < R_{q \min} = 0,75 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}},$$

**металопластикові вікна:**

$$R_{\Sigma} = 0,60 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}} < R_{q \min} = 0,75 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}}.$$

Як бачимо, теплозахисні властивості зовнішніх огорожень знаходяться у незадовільному стані, тому вимагають впровадження енергозберігаючих заходів для збільшення їх опору теплопередачі.

Коефіцієнт теплопередачі дерев'яних вікон складає :

$$k_{\text{вікон(д)}} = 2,2 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}.$$

Коефіцієнт теплопередачі металопластикових вікон з подвійним склінням в подвійних спарених переплетах становить:

$$k_{\text{вікон(м)}} = 1,6 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}.$$

**Дах школи.**

У таблиці 2.3 представлено матеріали з яких виготовлено дах школи.

Таблиця 2.3 – Матеріали, з яких виготовлено дах школи

№ шару	Найменування матеріалу	Розрахункові характеристики	
		$\lambda$ , Вт/м·К	$\delta$ , мм
1	Залізобетонна плита	1,7	0,25
2	Шлакобетон	0,6	0,03
3	Вапняно-піщана стяжка	0,87	0,03
4	Гідроізоляція	0,7	0,003

Опір теплопередачі даху складає :

$$R_{\Sigma} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,25}{1,7} + \frac{0,03}{0,6} + \frac{0,03}{0,87} + \frac{0,003}{0,7} + \frac{1}{23} = 0,37 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}}.$$

Мінімально допустиме значення опору теплопередачі перекриття неопалювальних горищ  $R_{q \min} = 4,95 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}}$ , тому:

$$R_{\Sigma} = 0,37 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}} < R_{q \min} = 4,95 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}}.$$

Це означає, що теплозахисні властивості даху незадовільні і потребують впровадження енергозберігаючих заходів для збільшення їх опору теплопередачі.

Коефіцієнт теплопередачі стелі:

$$k_{\text{даху}} = \frac{1}{0,37} = 2,7 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}.$$

### Двері школи.

Вхідні двері металеві. Двері аварійного виходу металопластикові. Матеріали, з яких виготовлено двері школи представлено у таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – Матеріали з яких виготовлено двері школи

№ шару	Найменування матеріалу	Розрахункові характеристики	
		$\lambda$ Вт/м·К	$\delta$ м
1	Метал алюміній	0,18	0,04
2	Металопластик	1,4	0,08

Опір теплопередачі дверей складає:

**Металеві двері:**

$$R_{\Sigma} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,04}{0,18} + \frac{1}{23} = 0,37 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}}.$$

**Металопластикові двері:**

$$R_{\Sigma} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,08}{1,4} + \frac{1}{23} = 0,21 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}}.$$

Мінімально допустиме значення опору теплопередачі дверей

$$R_{q \min} = 0,65 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}}, \text{ тому :}$$

**металеві двері:**

$$R_{\Sigma} = 0,37 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}} < R_{q \min} = 0,65 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}}.$$

**металопластикові двері:**

$$R_{\Sigma} = 0,21 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}} < R_{q \min} = 0,65 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}}.$$

Так як  $R_{\Sigma} < R_{q \min}$  зовнішні двері знаходяться в незадовільному стані, тому необхідне впровадження енергозберігаючих заходів.

Коефіцієнт теплопередачі дверей складає:

**металеві двері:**

$$k_{\text{дверей(м)}} = 2,7 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}.$$

**металопластикові двері:**

$$k_{\text{дверей(п)}} = 4,76 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}.$$

**Підлога школи.**

Підлога складається з шарів, які наведені у таблиці 2.5.

Таблиця 2.5 – Характеристика підлоги

№ шару	Найменування матеріалу	Розрахункові характеристики	
		$\lambda$ Вт/м·К	$\delta$ м
1	залізобетонне перекриття	1,86	0,1
2	шлакобетон	0,63	0,04
3	цементно-піщана стяжка	0,93	0,015
4	плитка керамічна	0,64	0,012

Опір теплопередачі знаходимо за формулою:

$$R_{\text{підлоги}} = \frac{1}{\alpha_3} + \frac{\delta_{з/б}}{\lambda_{з/б}} + \frac{\delta_{ш.б.}}{\lambda_{ш.б.}} + \frac{\delta_{ц.ст.}}{\lambda_{ц.ст.}} + \frac{\delta_{пл}}{\lambda_{пл}} + \frac{1}{\alpha_{вн}},$$

де  $\lambda_i$  - коефіцієнт теплопровідності відповідного шару,  $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$ ;

$\delta_i$  - товщина відповідного шару, м;

$\alpha_3$  - коефіцієнт тепловіддачі від підлоги зовнішньому середовищу,

$$\alpha_3 = 6 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}} \quad (\text{при наявності неопалювального підвалу}).$$

Підставляємо значення у формулу:

$$R_{\text{підлоги}} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,1}{1,86} + \frac{0,04}{0,63} + \frac{0,015}{0,93} + \frac{0,012}{0,64} + \frac{1}{6} = 1,517 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}}.$$

Коефіцієнт теплопередачі підлоги дорівнює:

$$k_{\text{підлоги}} = \frac{1}{1,517} = 0,659 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}.$$

## 2.2 Тепловтрати через огорожувальні конструкції

Тепловтрати через огорожувальні конструкції розраховуються за формулою:

- За середньою температурою:

$$Q = \frac{F}{R} \cdot (t_{\text{вн}} - t_{\text{з.ср.}}),$$

- За максимальною температурою:

$$Q = F \cdot k \cdot (t_{\text{вн}} - t_{\text{з}}),$$

де  $F$  – площа огорожувальної конструкції,  $\text{м}^2$ ;

$R$  – термічний опір огорожувальної конструкції,  $(\text{м}^2 \cdot \text{К})/\text{Вт}$ ;

$t_{\text{вн}}$  – нормативна температура в середині приміщення;

$t_{\text{з.ср}}$  – середня температура навколишнього середовища.

### **Стіни школи.**

$$F_{\text{стіни}} = 2712,51 \text{ м}^2;$$

$$R_{\text{стіни}} = 0,99 (\text{м}^2 \cdot \text{К})/\text{Вт};$$

$$k_{\text{стіни}} = 1,01 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

$$Q = \frac{F}{R} \cdot (t_{\text{вн}} - t_{\text{з.ср.}}) = \frac{2712,51}{0,99} \cdot (21 + 0,1) = 57,8 \text{ кВт}.$$

$$Q = 2712,51 \cdot 1,01 \cdot (21 + 22) = 117,8 \text{ кВт}.$$

### **Вікна школи.**

#### **Дерев'яні вікна:**

$$F_{\text{вікон1}} = 197,4 \text{ м}^2;$$

$$F_{\text{вікон2}} = 26,32 \text{ м}^2;$$

$$F_{\text{вікон3}} = 16,12 \text{ м}^2;$$

$$R_{\text{вікон(д)}} = 0,45 (\text{м}^2 \cdot \text{К})/\text{Вт}.$$

$$k_{\text{вікна(д)}} = 2,2 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

#### **Металопластикові вікна:**

$$F_{\text{вікон4}} = 157,92 \text{ м}^2;$$

$$F_{\text{вікон5}} = 239,94 \text{ м}^2;$$

$$R_{\text{вікон(м)}} = 0,6 \text{ (м}^2 \cdot \text{К)} / \text{Вт.}$$

$$k_{\text{вікна(м)}} = 1,6 \text{ Вт} / (\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

### **Дерев'яні вікна:**

$$Q_1 = \frac{F}{R} \cdot (t_{\text{вн}} - t_{\text{з.сп.}}) = \frac{197,4}{0,45} \cdot (21 + 0,1) = 9,25 \text{ кВт.}$$

$$Q_2 = \frac{F}{R} \cdot (t_{\text{вн}} - t_{\text{з.сп.}}) = \frac{26,32}{0,45} \cdot (21 + 0,1) = 1,23 \text{ кВт.}$$

$$Q_3 = \frac{F}{R} \cdot (t_{\text{вн}} - t_{\text{з.сп.}}) = \frac{16,12}{0,45} \cdot (21 + 0,1) = 0,96 \text{ кВт.}$$

$$Q_1 = 197,4 \cdot 2,2 \cdot (21 + 22) = 18,67 \text{ кВт.}$$

$$Q_2 = 26,32 \cdot 2,2 \cdot (21 + 22) = 2,48 \text{ кВт.}$$

$$Q_3 = 16,12 \cdot 2,2 \cdot (21 + 22) = 1,52 \text{ кВт.}$$

### **Металопластикові вікна:**

$$Q_4 = \frac{F}{R} \cdot (t_{\text{вн}} - t_{\text{з.сп.}}) = \frac{157,92}{0,6} \cdot (21 + 0,1) = 5,55 \text{ кВт.}$$

$$Q_5 = \frac{F}{R} \cdot (t_{\text{вн}} - t_{\text{з.сп.}}) = \frac{239,94}{0,6} \cdot (21 + 0,1) = 8,43 \text{ кВт.}$$

$$Q_4 = 157,92 \cdot 1,6 \cdot (21 + 22) = 10,86 \text{ кВт.}$$

$$Q_5 = 239,94 \cdot 1,6 \cdot (21 + 22) = 16,5 \text{ кВт.}$$

Сумарні тепловтрати через вікна школи складають:

$$Q_{\Sigma} = 9,25 + 1,23 + 0,96 + 5,55 + 8,43 = 25,42 \text{ кВт.}$$

$$Q_{\Sigma} = 18,67 + 2,48 + 1,52 + 10,86 + 16,5 = 50,03 \text{ кВт.}$$

**Двері школи.**

### **Металеві двері:**

$$F_{\text{дверей}} = 12,096 \text{ м}^2;$$

$$R_{\text{дверей}} = 0,37(\text{м}^2 \cdot \text{К})/\text{Вт};$$

$$k_{\text{дверей}} = 2,7 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

$$Q = \frac{F}{R} \cdot (t_{\text{вн}} - t_{\text{з.ср.}}) = \frac{12,096}{0,37} \cdot (21 + 0,1) = 0,68 \text{ кВт}.$$

$$Q = 12,096 \cdot 2,7 \cdot (21 + 22) = 1,4 \text{ кВт}.$$

### **Металопластикові двері:**

$$F_{\text{дверей}} = 20,3 \text{ м}^2;$$

$$R_{\text{дверей}} = 0,21 (\text{м}^2 \cdot \text{К})/\text{Вт}.$$

$$k_{\text{дверей}} = 4,76 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

$$Q = \frac{F}{R} \cdot (t_{\text{вн}} - t_{\text{з.ср.}}) = \frac{20,3}{0,21} \cdot (21 + 0,1) = 2,03 \text{ кВт}.$$

$$Q = 20,3 \cdot 4,76 \cdot (21 + 22) = 4,15 \text{ кВт}.$$

Сумарні тепловтрати через двері школи складають:

$$Q_{\Sigma} = 0,68 + 2,03 = 2,7 \text{ кВт}.$$

$$Q_{\Sigma} = 1,4 + 4,15 = 5,55 \text{ кВт}.$$

### **Дах школи.**

$$F_{\text{даху}} = 1438,65 \text{ м}^2;$$

$$R_{\text{даху}} = 0,37(\text{м}^2 \cdot \text{К})/\text{Вт}.$$

$$k_{\text{даху}} = 2,7 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$$

$$Q = \frac{F}{R} \cdot (t_{\text{вн}} - t_{\text{з.ср.}}) = \frac{1438,65}{0,37} \cdot (21 + 0,1) = 82,04 \text{ кВт}.$$

$$Q = 1438,65 \cdot 2,7 \cdot (21 + 22) = 167,02 \text{ кВт}.$$

### Підлога школи

$$F_{\text{підлоги}} = 1438,65 \text{ м}^2;$$

$$R_{\text{підлоги}} = 1,517 \text{ (м}^2 \cdot \text{К)/Вт}.$$

$$k_{\text{підлоги}} = 0,659 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}.$$

$$Q = \frac{F}{R} \cdot (t_{\text{вн}} - t_{\text{з.ср.}}) = \frac{1438,65}{1,517} \cdot (21 + 0,1) = 20 \text{ кВт}.$$

$$Q = 1438,65 \cdot 0,659 \cdot (21 + 22) = 40,76 \text{ кВт}.$$

Представимо отримані результати по розрахунку основних тепловтрат через огорожувальні конструкції у таблиці 2.6.

Таким чином, основні тепловтрати через огорожувальні конструкції на середню температуру складають **187,96 кВт**. Причому, основна частка припадає на зовнішні стіни, вікна та стелю будівлі, тому при впровадженні енергозберігаючих заходів особливу увагу необхідно приділити саме цим елементам.

Таблиця 2.6 – Тепловтрати через огорожувальні конструкції на середню температуру

№ п/п	Найменування	Опір теплопередачі (м <sup>2</sup> ·К)/Вт	Площа, м <sup>2</sup>	Тепловтрати, кВт	Тепло- втрати, Гкал/год
1	Стіни школи	0,99	2712,51	57,8	0,049
2	Вікна школи	0,45/0,6	239,66/397,99	25,42	0,02
3	Двері школи	0,38/0,21	32,41	2,7	0,002
4	Дах школи	0,469	1438,65	82,04	0,07
5	Підлога школи	1,517	1438,65	20	0,017
	<b>Сумарні тепловтрати</b>			<b>187,96</b>	<b>0,158</b>



Таблиця 2.7 – Тепловтрати через огорожувальні конструкції на максимальну температуру

№ п/п	Найменування	Опір теплопередачі (м <sup>2</sup> ·К)/Вт	Площа, м <sup>2</sup>	Тепловтрати, кВт	Тепловтрати, Гкал/год
1	Стіни школи	0,99	2712,51	117,8	0,101
2	Вікна школи	0,45/0,6	239,66/397,99	50,03	0,043
3	Двері школи	0,38/0,21	32,41	5,55	0,0047
4	Дах школи	0,469	1438,65	167,02	0,143
5	Підлога школи	1,517	1438,65	40,76	0,035
<b>Сумарні тепловтрати</b>				<b>381,16</b>	<b>0,326</b>

## 2.3 Розрахунок додаткових тепловтрат через огорожувальні конструкції

### 2.3.1 Тепловтрати на інфільтрацію повітря

Додаткові витрати на інфільтрацію повітря виникають через відкривання зовнішніх дверей, а також нещільність зовнішніх вікон [3].

1) Додаткові витрати на відкривання зовнішніх дверей обчислюються за формулою:

$$Q_{\text{ов}}^{\text{відкр}} = Q_{\text{ов}} \cdot \beta_{\text{відкр}},$$

де:  $Q_{\text{ов}}$  - тепловтрати через зовнішні двері, кВт;

$\beta_{\text{відкр}}$  – коефіцієнт добавки на відкривання дверей, для одинарних дверей  $\beta_{\text{відкр}}=3$ .

Допускається для практичних розрахунків для всіх зовнішніх стін, незалежно від орієнтації. Тоді втрати на інфільтрацію повітря через зовнішні двері складають:

– максимальна температура:

$$Q_{\text{ов}}^{\text{відкр}} = 5,55 \cdot 3 = 16,65 \text{ кВт}.$$

– середня температура:

$$Q_{ов}^{відкр} = 2,7 \cdot 3 = 8,1 \text{ кВт}.$$

2) Додаткові втрати через нещільність вікон обчислюються як:

$$Q_{вік}^{інф} = 0,28 \cdot G \cdot F \cdot c \cdot (t_{в} - t_{з.ср.}) \cdot 10^{-3},$$

де:  $F$  – площа віконного прорізу,  $\text{м}^2$ ;

$c$  – питома теплоємність повітря,  $1,005 \text{ кДж/кг} \cdot ^\circ\text{C}$ ;

$G$  – кількість інфільтрованого холодного повітря через нещільність віконного огороження, приймається  $6 \text{ кг/}(\text{м}^2\text{год})$ .

Тоді втрати теплоти на інфільтрацію через зовнішні вікна складає:

– максимальна температура:

$$Q_{вік}^{інф} = 0,28 \cdot 6 \cdot 637,65 \cdot 1,005 \cdot (21 + 22) \cdot 10^{-3} = 46,29 \text{ кВт}.$$

– середня температура:

$$Q_{вік}^{інф} = 0,28 \cdot 6 \cdot 637,65 \cdot 1,005 \cdot (21 + 0,1) \cdot 10^{-3} = 22,71 \text{ кВт}.$$

3) Втрати теплоти через нещільність зовнішніх дверей обчислюються аналогічно:

$$Q_{ов}^{інф} = G \cdot c \cdot (t_{в} - t_{з.ср.}),$$

де:  $G$  – витрата інфільтрованого повітря обчислюється за формулою:

$$G = b \cdot l \cdot \vartheta \cdot m,$$

де:  $b$  – ширина встановленої дверної нещільності ( $b = 0,005 \text{ м}$ );

$l$  – ширина нещільності дверного прорізу (приймається загальний периметр двері  $l = 55,96$ ),  $\text{м}$ ;

$\vartheta$  – середня швидкість інфільтрованого повітря (приймається  $0,5 \text{ м/с}$ );

$m$  – маса  $1 \text{ м}^3$  повітря (приймається  $1,29 \text{ кг}$ ).

$$G = 0,005 \cdot 55,96 \cdot 0,5 \cdot 1,29 = 0,18 \frac{\text{кг}}{\text{с}}.$$

– максимальна температура:

$$Q_{ов}^{інф} = 0,18 \cdot 1,005 \cdot (21 + 22) = 7,77 \text{ кВт}.$$

– середня температура:

$$Q_{\partial\phi}^{inf} = 0,18 \cdot 1,005 \cdot (21 + 0,1) = 3,81 \text{ кВт}.$$

Таким чином, загальні додаткові витрати на інфільтрацію повітря складають:

– максимальна температура:

$$Q_{\Sigma}^{inf} = Q_{\partial\phi}^{відкр} + Q_{\partial\phi}^{inf} + Q_{вік}^{inf} = 16,65 + 7,77 + 46,29 = 70,71 \text{ кВт} = 0,06 \frac{\text{Гкал}}{\text{год}}.$$

– середня температура:

$$Q_{\Sigma}^{inf} = Q_{\partial\phi}^{відкр} + Q_{\partial\phi}^{inf} + Q_{вік}^{inf} = 8,1 + 3,81 + 22,71 = 34,62 \text{ кВт} = 0,029 \frac{\text{Гкал}}{\text{год}}.$$

### 2.3.2 Втрати теплоти в трубопроводах системи опалення

Втрати теплоти в трубопроводах системи опалення, що проходять по не опалювальних підвалах і підпіллях визначаються за формулою [3]:

$$Q_2 = 0,02 \cdot (Q_{огор} + Q_{inf}).$$

За формулою маємо:

– максимальна температура:

$$Q_2 = 0,02 \cdot (0,326 + 0,06) = 0,0077 \frac{\text{Гкал}}{\text{год}} = 8,95 \text{ кВт}.$$

– середня температура:

$$Q_2 = 0,02 \cdot (0,158 + 0,029) = 0,0037 \frac{\text{Гкал}}{\text{год}} = 4,3 \text{ кВт}.$$

### 2.3.3 Надходження теплоти від людей

Знайдемо теплоту, що надходить від людей за виразом [3]:

$$Q_3 = n \cdot q_{\text{я}},$$

де:  $q_{\text{я}}$  – питома кількість явної теплоти, що виділяється однією людиною,  $q_{\text{я}} = 85 \text{ Вт/люд.}$ ;

$n$  – кількість людей, які одночасно знаходяться у приміщенні.

Кількість людей осереднена 590 за добу. При знаходженні протягом в середньому 9 годин в школі за добу, отримаємо:

$$n = \frac{590 \cdot 9}{24} = 221 \text{ людина.}$$

Підставимо значення у формулу :

$$Q_3 = n \cdot q_{\text{я}} = 221 \cdot 85 = 18,78 \text{ кВт} = 0,016 \frac{\text{Гкал}}{\text{год}}.$$

### 2.3.4 Надходження теплоти від електрообладнання

Розрахуємо теплоту, що надходить від електрообладнання за виразом [3]:

$$Q_4 = N_{\text{В}} \cdot n \cdot k_{\text{В}} \cdot k_{\text{О}} \cdot k_{\text{З}} \cdot (1 - \eta + k_{\text{Т}} \cdot \eta),$$

де:  $N_{\text{В}}$  - встановлена потужність електрообладнання, а саме:

- комп'ютери :  $N_{\text{В}} = 0,5 \text{ кВт}$ ;
- ноутбуки:  $N_{\text{В}} = 0,5 \text{ кВт}$ ;
- принтери:  $N_{\text{В}} = 0,3 \text{ кВт}$ ;
- телевізори:  $N_{\text{В}} = 0,15 \text{ кВт}$ ;
- : інтерактивні дошки:  $N_{\text{В}} = 0,9 \text{ кВт}$ ;

$n$  – кількість електрообладнання, а саме:

- комп'ютери :  $n = 60 \text{ шт}$ ;

- ноутбуки:  $n = 16$  шт;
- принтери:  $n = 16$  шт;
- телевізори:  $n = 8$  шт;
- інтерактивні дошки:  $n = 3$  шт.

$k_B = 0,7$ - коефіцієнт використання встановленої потужності;

$k_O = 0,5$ - коефіцієнт одночасності роботи устаткування;

$k_3 = 0,5$ - коефіцієнт середнього завантаження обладнання;

$k_T = 0,1$  – коефіцієнт переведення механічної енергії в теплову, який враховує, що частина теплоти може бути віддана охолоджуючій емульсії, повітрю або воді та унесена ними з помешкання;

$\eta = 0,8$  – ККД двигуна.

За формулою маємо:

$$Q_4 = (0,5 \cdot 60 + 0,5 \cdot 16 + 0,3 \cdot 16 + 0,15 \cdot 8 + 0,9 \cdot 8) \cdot 0,7 \cdot 0,5 \cdot 0,5 \cdot (1 - 0,8 + 0,1 \cdot 0,8) = 2,2 \text{ кВт} = 0,0018 \frac{\text{Гкал}}{\text{год}}.$$

### 2.3.5 Втрати теплоти обумовлені орієнтацією будинку

Додаткові тепловтрати через зовнішні стіни обумовлені орієнтацією будинку і визначаються за формулою [3]:

$$Q_{cm}^{од} = k \cdot (t_{вн} - t_3) \cdot F \cdot \beta_{op},$$

де:  $k$  - коефіцієнт теплопередачі зовнішніх огорожень,  $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$ ;

$\beta_{op}$  – коефіцієнт добавки на зовнішню стіну стосовно сторін світу.

Таким чином, додаткові втрати на об'єкті складають:

– максимальна температура:

$$Q_{cm}^{Пн} = 1,01 \cdot (21 + 22) \cdot 317,24 \cdot 0,1 = 1,37 \text{ кВт}.$$

$$Q_{cm}^{Пд} = 1,01 \cdot (21 + 22) \cdot 204,76 \cdot 0,02 = 0,17 \text{ кВт}.$$

$$Q_{cm}^{3x} = 1,01 \cdot (21 + 22) \cdot 1007,42 \cdot 0,05 = 2,18 \text{ кВт.}$$

$$Q_{cm}^{Cx} = 1,01 \cdot (21 + 22) \cdot 1183,09 \cdot 0,06 = 3,08 \text{ кВт.}$$

– середня температура:

$$Q_{cm}^{Пн} = 1,01 \cdot (21 + 0,1) \cdot 317,24 \cdot 0,1 = 0,67 \text{ кВт.}$$

$$Q_{cm}^{Пд} = 1,01 \cdot (21 + 0,1) \cdot 204,76 \cdot 0,02 = 0,087 \text{ кВт.}$$

$$Q_{cm}^{3x} = 1,01 \cdot (21 + 0,1) \cdot 1007,42 \cdot 0,05 = 1,07 \text{ кВт.}$$

$$Q_{cm}^{Cx} = 1,01 \cdot (21 + 0,1) \cdot 1183,09 \cdot 0,06 = 1,51 \text{ кВт.}$$

Отже, сумарні втрати теплоти обумовлені орієнтацією будинку складають:

– максимальна температура:

$$Q_{cm}^{доо} = 1,37 + 0,17 + 2,18 + 3,08 = 6,8 \text{ кВт} = 0,0058 \frac{\text{Гкал}}{\text{год}}.$$

– середня температура:

$$Q_{cm}^{доо} = 0,67 + 0,087 + 1,07 + 1,51 = 3,34 \text{ кВт} = 0,0028 \frac{\text{Гкал}}{\text{год}}.$$

### 2.3.6 Надходження теплоти від освітлювальних приладів

Розрахуємо теплоту, що надходить від освітлювальних приладів за формулою [3]:

$$Q_{осв} = N_{осв} \cdot k_{осв} \cdot k_{в.осв},$$

де:  $N_{осв}$  – сумарна потужність освітлювальних приладів, кВт;

$k_{осв}$  – коефіцієнт показує, яка частина електроенергії переходить в теплоту, що нагріває повітря в приміщенні;

$k_{в.осв}$  – коефіцієнт використання світильників.

Надходження теплоти від люмінесцентних ламп складатиме:

Кількість ламп : 448 шт.;

Потужність 1-ї лампи:  $N_{осв1} = 0,018 \text{ кВт.}$

$$Q_{oc61} = 0,06 \cdot 448 \cdot 0,4 \cdot 0,4 = 1,29 \text{ кВт}.$$

Надходження теплоти від ламп розжарювання складатиме:

Кількість ламп : 37 шт.;

Потужність 1-ї лампи:  $N_{oc62} = 0,1 \text{ кВт}.$

$$Q_{oc61} = 0,1 \cdot 37 \cdot 0,4 \cdot 0,95 = 1,4 \text{ кВт}.$$

Сумарне надходження теплоти від освітлювальних приладів складає:

$$Q_{\Sigma} = Q_{oc61} + Q_{\Sigma oc62} = 1,29 + 1,4 = 2,69 \text{ кВт} = 0,0023 \frac{\text{Гкал}}{\text{год}}.$$

### 2.3.7 Надходження теплоти від сонячної радіації

Розрахуємо теплоту, що надходить від сонячної радіації за формулою [3]:

$$Q_{\text{сон}} = \zeta_{\text{в}} \varepsilon_{\text{в}} (F_{\text{Пн}} I_{\text{Пн}} + F_{\text{С}} I_{\text{С}} + F_{\text{Пд}} I_{\text{Пд}} + F_{\text{З}} I_{\text{З}}) + \zeta_{\text{з л}} \varepsilon_{\text{з л}} F_{\text{сп л}} I_{\text{Г}},$$

де:  $\zeta_{\text{в}}$ ,  $\zeta_{\text{з л}}$  - коефіцієнти, що враховують затінення світлового прорізу відносно вікон і zenітних ліхтарів непрозорими елементами заповнення;

$\varepsilon_{\text{в}}$ ,  $\varepsilon_{\text{зл}}$  - коефіцієнти відносного проникнення сонячної радіації для світлопрозорих заповнень вікон і zenітних ліхтарів, що приймаються за паспортними даними відповідних світлопрозорих конструкцій або за таблицею;

$F_{\text{Пн}}$ ,  $F_{\text{С}}$ ,  $F_{\text{Пд}}$ ,  $F_{\text{З}}$ , - площа світлових прорізів фасадів будинку, відповідно орієнтованих за чотирма сторонами світу,  $\text{м}^2$ ;

$F_{\text{сп л}}$  - площа світлових прорізів zenітних ліхтарів будинку,  $\text{м}^2$ ;

$I_{\text{Пн}}$ ,  $I_{\text{С}}$ ,  $I_{\text{Пд}}$ ,  $I_{\text{З}}$ , - середня величина сонячної радіації за опалувальний період, спрямована на вертикальну поверхню за умов хмарності, відповідно орієнтована за чотирма фасадами будинку,  $\text{Вт}/\text{м}^2$  (для проміжних орієнтирів фасадів будинків, що відрізняються від напрямків на Пн, Пд, З, С (ПнЗ, ПнС, ПдЗ, і ПдС), величину сонячної радіації треба визначати за інтерполяцією);

$I_{\Gamma}$  - середня величина сонячної радіації за опалювальний період, спрямована на горизонтальну поверхню, за умов хмарності, Вт /м<sup>2</sup> [4].

Тоді:

$$Q_{\text{сон}} = 0,75 \cdot 0,65 \cdot (312,73 \cdot 21,71 + 123,46 \cdot 40 + 78 \cdot 70,42 + 123,46 \cdot 40,5) = 10832,56 \text{ Вт} = 10,83 \text{ кВт} = 0,0093 \frac{\text{Гкал}}{\text{год}}.$$

Отже, сумарне теплове навантаження школи буде:

$$Q_{\text{сум}} = (Q_{\text{огор}} + Q_{\text{інф}}) \cdot b_1 \cdot b_2 + Q_2 + Q^{\text{доп}}_{\text{ст}} - Q_3 - Q_4 - Q^{\text{осв}}_{\Sigma} - Q_{\text{сон}},$$

де  $b_1$  - коефіцієнт, що враховує додатковий тепловий потік встановлених опалювальних приладів;

$b_2$  - коефіцієнт, що враховує додаткові витрати теплоти приладами, розташованими у зовнішніх огороженнях при відсутності екранів.

Підставивши значення у формулу маємо:

– максимальна температура:

$$Q_{\text{сум}} = (0,326 + 0,06) \cdot 1,13 \cdot 1,01 + 0,0077 + 0,0058 - 0,016 - 0,0023 - 0,0093 = 0,42 \frac{\text{Гкал}}{\text{год}} = 488,46 \text{ кВт}.$$

Витрату теплоти на опалення за опалювальний період визначаємо з рівняння :

– максимальна температура:

$$Q_0^{\text{рік}} = Q_0^{\text{max}} \cdot \frac{t_{\text{в}} - t_{\text{ср.о.}}}{t_{\text{в}} - t_{\text{р.о.}}} \cdot n_0 \cdot 24 = 0,42 \cdot \frac{21 - (-0,1)}{21 - (-22)} \cdot 176 \cdot 24 = 870,53 \frac{\text{Гкал}}{\text{рік}} = 1012426,39 \frac{\text{кВт} \cdot \text{год}}{\text{рік}}.$$

Представимо отримані результати у вигляді діаграми на рисунку 2.1 , який демонструє розподіл загальних тепловтрат по школі в цілому.



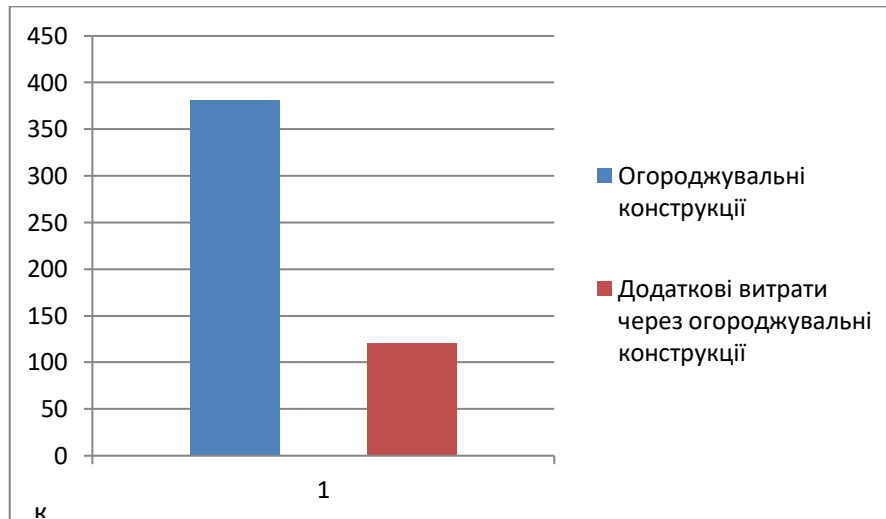


Рисунок 2.1 – Зведена діаграма тепловтрат школи

Як видно з діаграми, найбільша частина тепловтрат, припадає на огороджувальні конструкції, а саме на зовнішні стіни, вікна, та перекриття горища. Тому утеплення зовнішніх конструкцій є основним і першочерговим заходом для енергозбереження.

#### 2.4 Розрахунок теплового навантаження будівлі за збільшеними показниками

Зовнішній об'єм будівлі становить:

$$V_z = A \cdot B \cdot n \cdot h = 41,79 \cdot 93,8 \cdot 4 \cdot 2,8 = 43902,9 \text{ м}^3.$$

Витрата теплоти на опалення:

$$Q_0^{zn} = \alpha \cdot q_0 \cdot V_z \cdot (t_e - t_{p.o.}) = 1,134 \cdot 0,38 \cdot 43902,9 \cdot (21 - (-22)) = 813,5 \text{ кВт}.$$

Витрата теплоти на теплопостачання, кВт:

$$Q_{ТП} = Q_0^{zn} \cdot Q_B \cdot Q_{Г.В.} = 813,5 + 70,71 + 0 = 884,21 \text{ кВт}.$$

## 2.5 Розрахунок теплового навантаження будівлі за нормативним методом

Розраховуємо опір теплопередачі для даного міста та даної характеристики зовнішньої стіни.

Таблиця 2.7 – Розрахункові дані

№ шару	Найменування матеріалу	Розрахункові характеристики	
		$\lambda$ Вт/м К	$\delta$ м
1	Цегла на глиняному розчині	0,81	0,64
2	Зовнішня цементно-піщана штукатурка	1,2	0,025
3	Внутрішня цементно-піщана штукатурка	1,2	0,035
4	Зовнішня облицювальна плитка	1,1	0,007

Місто Київ знаходиться у І-й температурній зоні України. Мінімум допустиме значення опору теплопередачі зовнішньої стіни становить  $R_{qmin} = 3,3 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$ .

Опір теплопередачі для даної чотирьохшарової конструкції:

$$R_{\Sigma} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,64}{0,81} + \frac{0,025}{1,2} + \frac{0,035}{1,2} + \frac{0,007}{1,1} + \frac{1}{23} = 0,99 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}}.$$

Приведений опір теплопередачі зовнішньої стіни розрахований для типового фрагменту в межах одного поверху.

Вікна загальною площею  $637,65 \text{ м}^2$ . У вікнах присутні наступні теплопровідні включення, що відносяться до непрозорої огорожувальної конструкції:

- відкоси віконних прорізів в зоні надвіконної перемички, підвіконня, рядового примикання – лінійні елементи;
- міжповерхове перекриття – лінійні елементи.

Площа зовнішньої стіни для визначення приведенного опору теплопередачі з урахуванням віконних відкосів  $((1,8+1,5) \cdot 2 \cdot 0,25 = 1,65 \text{ м}^2)$  становить:

$$F_{\Sigma} = 3 \cdot 4,5 + 1,65 - 1,5 \cdot 1,8 = 12,45 \text{ м}^2.$$

Площа зовнішньої стіни для визначення опору теплопередачі по основному полю без урахування віконних відкосів становить:

$$F_i = 2,7 \cdot 4,5 - 1,5 \cdot 1,8 = 9,45 \text{ м}^2.$$

За аналогією розраховуємо опір теплопередачі для неопаленого горища, вікон, дверей та неопалюваного підвалу.

Результати розрахунку зведенні до таблиці 2.8.

Таблиця 2.8 – Теплопровідні включення та їх кількісне вираження

Найменування теплопровідного включення	Протяжність, L, м	Кількість, шт.	Лінійний коефіцієнт тепло передачі, k, Вт/(м·К)	Точковий коефіцієнт теплопередачі, $\psi$ , Вт/К,
Віконний відкіс в зоні перемички	1,5	-	0,081	-
Віконний відкіс в зоні підвіконня	1,5	-	0,059	-
Віконний відкіс в зоні рядового примикання	3,6	-	0,068	-
Міжповерхове перекриття	4,5	-	0,094	-
Дюбелі	-	76	-	0,0015

Опір теплопередачі конструкцій перекриття розраховується для складу перекриття над техпідпіллям:

Таблиця 2.9 – Характеристика підлоги

№ шару	Найменування матеріалу	Розрахункові характеристики	
		$\lambda$ Вт/м·К	$\delta$ м
1	залізобетонне перекриття	1,86	0,1
2	шлакобетон	0,63	0,04
3	цементно-піщана стяжка	0,93	0,015
4	плитка керамічна	0,64	0,012

$$R_{\text{підлоги}} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,1}{1,86} + \frac{0,04}{0,63} + \frac{0,015}{0,93} + \frac{0,012}{0,64} + \frac{1}{6} = 1,517 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}}.$$

Таблиця 2.10 – Склад підлоги по ґрунту у техпідпіллі:

№ шару	Найменування шару	Товщина $\delta$ , м	Теплопровідність $\lambda_{ip}$ , Вт/(м·К)
1	Розчин цементно-піщаний	0,05	0,93
2	Плити керамічні для підлоги	0,08	1,1

Таблиця 2.11 – Склад стіни, що межує із зовнішнім повітрям та ґрунтом у техпідпіллі:

№ шару	Найменування матеріалу	Розрахункові характеристики	
		$\lambda$ Вт/м К	$\delta$ м
1	Цегла на глиняному розчині	0,81	0,64
2	Зовнішня цементно-піщана штукатурка	1,2	0,025
3	Внутрішня цементно-піщана штукатурка	1,2	0,035
4	Зовнішня облицювальна плитка	1,1	0,007

Розрахунок проводиться згідно з методикою ДСТУ Б А.2.2-12.

Основні вихідні дані (визначаються згідно проекту):

– Загальна товщина зовнішніх стін –  $w = 0,707$  м;

– Зовнішній периметр підлоги –  $P = 195,6$  м;

– Площа підлоги перекриття над технічним підпіллям –  $A = 1438,65$  м<sup>2</sup>;

Термічний опір підлоги перекриття над технічним підпіллям:

$$R_f = 1,517 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт} \text{ [6];}$$

– Лінійний коефіцієнт теплопередачі теплопровідного включення вузла сполучення конструкції підлоги по ґрунту із зовнішньою стіною складає

$$\psi_g = 0,05 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)} \text{ [6];}$$

– Коефіцієнт теплопередачі зовнішніх стін технічного підпілля вище рівня поверхні ґрунту –  $U_w = 0,659 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)} \text{ [6];}$

– Середня швидкість вітру –  $v = 2,8$  м/с;

– Площа вентиляційних отворів по периметру підпільного простору :

$$\varepsilon = 0,002 \text{ м}^2/\text{м} \text{ [6];}$$

– Висота від відмітки ґрунту до верхньої відмітки перекриття над технічним підпіллям –  $h = 1,0$  м.

Розраховується характерний розмір підлоги згідно з формулою:

$$B' = \frac{A}{0,5 \cdot P} = \frac{1438,65}{0,5 \cdot 195,6} = 14,7.$$

Визначається еквівалентна товщина підлоги згідно з формулою, при цьому, теплопровідність ґрунту приймається  $\lambda = 2,0 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$ , внутрішній тепловий поверхневий опір –  $R_{si} = 0,17 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$  та зовнішній тепловий поверхневий опір –  $R_{se} = 0,043 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$  [5]:

$$d_g = w + \lambda(R_{si} + R_f + R_{se}) = 0,707 + 2(0,17 + 1,517 + 0,043) = 4,167 \text{ м}.$$

Коефіцієнт теплопередачі підлоги по ґрунту визначається згідно з формули:

$$U_g = \frac{2 \cdot \lambda}{\pi \cdot B' + d_g} \ln\left(\frac{\pi \cdot B'}{d_g} + 1\right) = \frac{2 \cdot 2}{3,14 \cdot 14,7 + 4,167} \ln\left(\frac{3,14 \cdot 14,7}{4,167} + 1\right) = 0,197 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}.$$

де:  $R_f$  - термічний опір підлоги технічного підпілля, м К/Вт;

$B'$  – характерний розмір підлоги, що дорівнює відношенню площі підлоги на половину периметра підлоги.

Еквівалентний коефіцієнт теплопередачі між простором технічного підпілля та зовнішнім середовищем визначають згідно з формулою, при цьому, значення коефіцієнту вітрозахисту  $f_w = 0,02$  [5]:

$$U_x = 2 \cdot \frac{h \cdot U_w}{B'} + 1450 \cdot \frac{\varepsilon \cdot V \cdot f_w}{B'} = 2 \cdot \frac{1 \cdot 0,659}{14,7} + 1450 \cdot \frac{0,002 \cdot 2,8 \cdot 0,02}{14,7} = 0,1 \text{ Вт} / (\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

де:  $h$  - висота від відмітки ґрунту до верхньої відмітки перекриття над технічним підпіллям, м;

$U_w$  - коефіцієнт теплопередачі зовнішніх стін технічного підпілля вище рівня поверхні ґрунту, Вт/(м<sup>2</sup> К);

$\varepsilon$  - площа вентиляційних отворів по периметру підпільного простору, м<sup>2</sup>/м;

$v$  - середня швидкість вітру, м/с, визначають згідно з [4], як середня швидкість вітру за переважним напрямом в січні;

$f_w$  - ступінь вітрозахисту.

Коефіцієнт теплопередачі системи огорожувальних конструкцій технічного підпілля визначається згідно з формулою:

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{U_f} + \frac{1}{U_f + U_x} = \frac{1}{0,18} + \frac{1}{0,18 + 0,1} = 9,12 \text{ Вт} / (\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

$$U_f = \frac{2 \cdot \lambda}{\pi \cdot B' + d_g + 0,5 \cdot z} \ln\left(\frac{\pi \cdot B'}{d_g + 0,5 \cdot z} + 1\right) = \frac{2 \cdot 2}{3,14 \cdot 14,7 + 4,167 + 0,5 \cdot 1} \ln\left(\frac{3,14 \cdot 14,7}{4,167 + 0,5 \cdot 1} + 1\right) = 0,18 \text{ Вт} / (\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

$$\frac{1}{U} = 9,12 \text{ Вт} / (\text{м}^2 \cdot \text{К}). \quad U = \frac{1}{9,12} = 0,1 \text{ Вт} / (\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

$$U_{bw} = \frac{2 \cdot \lambda}{\pi \cdot z} \left(1 + \frac{0,5 \cdot d_w}{d_w + z}\right) \ln\left(\frac{z}{d_w} + 1\right) = \frac{2 \cdot 2}{3,14 \cdot 1} \left(1 + \frac{0,5 \cdot 2,406}{2,406 + 1}\right) \ln\left(\frac{1}{2,406} + 1\right) = 0,599 \text{ Вт} / (\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

$$d_w = \lambda(R_{si} + R_w + R_{se}) = 2(0,17 + 0,99 + 0,043) = 2,406 \text{ м}.$$

де:  $U_f$  – коефіцієнт теплопередачі перекриття над технічним підпіллям, Вт/(м К) (між внутрішнім середовищем та простором технічного підпілля);

$U_x$  – еквівалентний коефіцієнт теплопередачі між простором технічного підпілля та зовнішнім середовищем, обумовлений тепловим потоком через зовнішні стіни та вентиляцію технічного підпілля, Вт/(м<sup>2</sup> К).

Стаціонарний узагальнений коефіцієнт теплопередачі трансмісією до ґрунту складає:

$$H_g = A \cdot U_f + z \cdot P \cdot U_{bw} + P \cdot \Psi_g = 1438,65 \cdot 0,18 + 1 \cdot 195,6 \cdot 0,599 + 195,6 \cdot 0,045 = 384,19 \text{ Вт} / (\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

де:  $A$  - площа підлоги, м<sup>2</sup>;

$P$  - зовнішній периметр підлоги, м;

$U_{bf}$  - коефіцієнт теплопередачі підлоги підвалу (цокольного поверху) по ґрунту, Вт/(м<sup>2</sup> К);

$Z$  - висота стін, що контактують з ґрунтом (стіни, що знаходяться нижче планувальної відмітки землі), м;

$U_{bw}$  - коефіцієнт теплопередачі стін, що контактують з ґрунтом, Вт/(м<sup>2</sup>К);

$\Psi_g$  - лінійний коефіцієнт теплопередачі теплопровідного включення вузла сполучення конструкцій, що контактують з ґрунтом, Вт/(м·К); визначають за результатами розрахунків згідно з [6].

Відповідно, опір теплопередачі перекриття становить:

$$R = \frac{A}{H_g} = \frac{1438,65}{384,19} = 3,7 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}}.$$

Для вікон та дверей знайдемо приведений термічний опір теплопередачі з довідкових даних, дані занесемо в таблицю 2.14.

Визначаємо коефіцієнт теплопередачі  $k$  (Вт/(м<sup>2</sup>·К) , тобто  $U$ -фактор , який в свою чергу розраховується за формулою :

$$k = \frac{1}{R} = \frac{1}{3,7} = 0,27 \text{ Вт} / (\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

Розрахункові дані огорожувальних конструкцій будинку запишемо в таблицю 2.12.

Таблиця 2.12 - Розрахункові дані

№	Огороджувальні конструкції	Площа $A_i, m^2$	Приведений опір теплопередачі $R, m^2 \cdot K/W$	U-фактор, $W/(m^2 \cdot K)$	Коефіцієнти	
					$b_{tr,x,H}$	$b_{tr,x,C}$
1	Зовнішні стіни, в тому числі орієнтовані на: - північ - схід - південь - захід	2712,50 317,24 204,76 1007,42 1183,09	0,99	1,01	1	1
2	Суміщене покриття	1438,65	0,469	2,13	1	1
3	Перекриття над техпідпіллям	1438,65	1,517	0,65	1	1
4	Вікна в тому числі орієнтовані на: - північ - схід - південь - захід	637,65 312,73 123,46 70,42 123,46	0,45/0,6	2,2/1,6	1	1
5	Двері	32,41	0,38/0,21	2,63/4,76	1	1

### Теплопередача трансмісією

### Сумарна теплопередача трансмісією через зону будівлі

Сумарну теплопередачу трансмісією  $Q_{tr}$ , Вт·год, розраховують для кожного місяця та для кожної зони за формулами:

$$Q_{tr} = H_{tr,adj} (\theta_{int,set,H} - \theta_e) t ,$$



де  $H_{tr,adj}$  – загальний коефіцієнт теплопередачі трансмісією зони, Вт/К, встановлений для різниці температур всередині-ззовні;

$\theta_{int,set,H}$  – задана температура зони будівлі для опалення, °С;

$\theta_{int,set,C}$  – задана температура зони будівлі для охолодження, °С;

$\theta_e$  – середньомісячна температура зовнішнього середовища, °С;

$t$  – тривалість місяця, для якого проводиться розрахунок, год.

Обрахунки ведуться для всіх місяців опалювального періоду.

На прикладі представимо розрахунки для місяця січень. Всі інші місяці рахуємо аналогічно. Результати зведемо до таблиці 2.13.

$$Q_{tr} = H_{tr,adj} (\theta_{int,setH} - \theta_e) t;$$

$$Q_{tr} = 7830,818 \cdot (21 + 4,7) \cdot 744 = 149732 \text{ кВт} \cdot \text{год}.$$

### Узагальнені коефіцієнти теплопередачі трансмісією

Значення загального коефіцієнта теплопередачі трансмісією  $H_{tr,adj}$ , Вт/К, повинно бути розраховане за формулою:

$$H_{tr,adj} = H_D + H_g + H_U + H_A ,$$

де:  $H_D$  – безпосередній узагальнений коефіцієнт теплопередачі трансмісією до зовнішнього середовища, Вт/К;

$H_g$  – стаціонарний узагальнений коефіцієнт теплопередачі трансмісією до ґрунту, Вт/К;

$H_U$  – узагальнений коефіцієнт теплопередачі трансмісією через некондиціоновані об'єми, Вт/К;

$H_A$  – узагальнений коефіцієнт теплопередачі трансмісією до суміжних будівель, Вт/К.

В загальному випадку  $H_x$ , що відображає  $H_D$ ,  $H_g$ ,  $H_U$  або  $H_A$ , складається з трьох доданків та розраховується за формулою:

$$H_x = b_{tr,x} \left[ \sum_i A_i \cdot U_i \right],$$

де  $A_i$  – площа  $i$ -го елемента оболонки будівлі, м<sup>2</sup>;

$U_i$  – коефіцієнт теплопередачі  $i$ -го елемента оболонки будівлі, Вт/(м<sup>2</sup>·К), що становить  $U_i = 1/R_{\Sigma i}$ ;

$R_{\Sigma i}$  – опір теплопередачі  $i$ -го елемента оболонки будівлі, м<sup>2</sup>·К/Вт, що для непрозорих елементів визначають згідно з [6];

$b_{tr,x}$  – поправочний коефіцієнт.

Таблиця 2.15 – Розрахунок трансмісійних тепловтрат

Місяць	$\theta_e, ^\circ C$	$t, \text{ дні}$	$\Theta_{int, set, H}$	$H_{tr}, \text{ Вт/К}$	$Q_{tr}, \text{ кВт}\cdot\text{год}$
1	2	3	4	5	6
1	-4,7	744	21	7830,818	149732
2	-3,6	672	21		129453
3	1	744	21		116523
4	9	720	21		67658
5	15,2	744	21		33792
6	18,3	720	21		15223
7	19,8	744	21		6991
8	19	744	21		11652
9	13,9	720	21		40031
10	8,1	744	21		75157
11	1,9	720	21		107689
12	-2,5	744	21		136914
					$\Sigma 741212,4=766 \text{ Гкал}$

## Теплопередача вентиляцією

### Сумарна теплопередача вентиляцією через зону будівлі

Сумарну теплопередачу вентиляцією  $Q_{ve}$ , Вт·год, розраховують для кожного місяця та для кожної  $z$ -ої зони за формулами:

– для опалення:

$$Q_{ve} = H_{ve,adj} (\theta_{int,set,H,z} - \theta_e) t;$$

де  $H_{ve,adj}$  – загальний коефіцієнт теплопередачі вентиляцією, Вт/К;

$\theta_{int,set,H}$  – задана температура зони будівлі для опалення, °С;

$\theta_e$  – середньомісячна температура зовнішнього середовища, °С;

$t$  – тривалість місяця, для якого проводиться розрахунок, год.

**Узагальнені коефіцієнти теплопередачі вентиляцією:** значення загального коефіцієнта теплопередачі вентиляцією  $H_{ve,adj}$ , Вт/К, розраховують за формулою:

$$H_{ve,adj} = \rho_a c_a \left( \sum_k b_{ve,k} q_{ve,k,mn} \right),$$

де  $\rho_a c_a$  – теплоємність повітря одиниці об'єму, дорівнює 0,33 Вт·год/(м<sup>3</sup>·К);

$q_{ve,k,mn}$  – усереднена за часом витрата повітря від  $k$ -го елемента, м<sup>3</sup>/год;

$b_{ve,k}$  – температурний поправочний коефіцієнт для  $k$ -го елемента повітряного потоку, зі значенням  $b_{ve,k} \neq 1$ , якщо температура припливного повітря  $\theta_{sup,k}$  не дорівнює температурі зовнішнього середовища, як у випадку попереднього нагріву, попереднього охолодження чи утилізації теплоти;

$k$  – представляє кожен із відповідних елементів повітряного потоку, таких як інфільтрація, природна вентиляція, механічна вентиляція тощо.

Усереднену за часом витрату повітря  $k$ -го елемента повітряного потоку  $q_{ve,k,mn}$ , м<sup>3</sup>/год, розраховують за формулою:

$$q_{ve,inf,mn} = n_{inf,mn} V,$$

де  $n_{inf,mn}$  – кратність повітрообміну за рахунок інфільтрації, враховуючи вплив механічної вентиляції, год<sup>-1</sup>;

$V$  – кондиціонований об'єм зони/будівлі, м<sup>3</sup>.

Розрахунок для місяця січень, всі інші за аналогією. Результати зведемо в таблицю 2.14 .

$$V_h = V_f \cdot h,$$

$$V_h = (8 \cdot 3 + 2,7) \cdot 2712,51 = 72424, \text{ м}^3;$$

$$q = 0,8 \cdot V_h = 0,8 \cdot 72424 = 57939 \frac{\text{м}^3}{\text{год}};$$

$$H_{VE} = 0,33 \cdot 19119,94 = 6309,5, \frac{\text{Вт}}{\text{К}}.$$

Загальні тепловтрати складаються з суми трансмісійних на вентиляційних витрат:

$$Q_{ht} = Q_{tr} + Q_{ve},$$

$$Q_{ht} = 22888,97 + 11541 = 34430 \text{ кВт} \cdot \text{год}.$$

Таблиця 2.14 – Теплопередача природною вентиляцією

Місяць	$\Theta_e, ^\circ\text{C}$	$t$	$\Theta_{int,set,H}$	$H_{ve,adj}, \text{Вт/К}$	$Q_{ve}, \text{кВт} \cdot \text{год}$
1	-4,7	744	21	19119,94	120642,7
2	-3,6	672	21		104303,6
3	1	744	21		93885,36
4	9	720	21		54514,08
5	15,2	744	21		27226,75
6	18,3	720	21		12265,67

Продовження таблиці 2.14

1	2	3	4	5	6
7	19,8	744	21		5633,122
8	19	744	21		9388,536
9	13,9	720	21		32254,16
10	8,1	744	21		60556,06
11	1,9	720	21		86768,24
12	-2,5	744	21		110315,3
					<b>Σ717753,5=617 Гкал</b>

В таблицю 2.15 зафіксуємо загальні тепловтрати по кожному місяцю.

Таблиця 2.15 – Загальні тепловтрати

Місяць	$Q_{ve}$ , кВт·год	$Q_{tr}$ , кВт·год	$Q_{ht}$ , кВт·год
1	149732	120642,7	270374
2	129453	104303,6	233756
3	116523	93885,36	210408
4	67658	54514,08	122172
5	33792	27226,75	61018
6	15223	12265,67	27489
7	6991	5633,122	12624
8	11652	9388,536	21041
9	40031	32254,16	72285
10	75157	60556,06	135713
11	107689	86768,24	194458
12	136914	110315,3	247229
			<b>Σ1608569=1383 Гкал</b>

### Внутрішні теплонадходження

Внутрішні теплонадходження, теплонадходження від внутрішніх теплових джерел, включаючи від'ємні теплонадходження (розсіяна теплота від внутрішнього середовища до холодних джерел або «стоки»), складаються з будь-якої теплоти, що створюється в кондиціонованому об'ємі внутрішніми

джерелами, крім тієї, що навмисно використовується для опалення, охолодження або ГВП.

Внутрішні теплонадходження включають в себе:

- метаболічну теплоту від людей та розсіяну теплоту від обладнання;
- теплоту, розсіяну від освітлювальних приладів;
- теплоту, розсіяну від або поглинену системами гарячої і водопровідної води та каналізації;
- теплоту, розсіяну від або поглинену системами опалення, охолодження та вентиляції;
- теплоту від або до процесів та продукції.

Теплонадходження від внутрішніх теплових джерел у зоні будівлі, що розглядається,  $Q_{\text{int}}$ , Вт·год, для визначеного місяця розраховують за формулою:

$$Q_{\text{int}} = \left( \sum_k \Phi_{\text{int,mn},k} A_f \right) \cdot t,$$

де  $\Phi_{\text{int,mn},k}$  – усереднений за часом тепловий потік від  $k$ -го внутрішнього джерела, Вт/м<sup>2</sup>;

$A_f$  – кондиціонована площа зони будівлі, м<sup>2</sup>;

$t$  – тривалість періоду використання, виражена у годинах на місяць.

$$\Phi_{\text{int,mn},k} = \frac{n}{N} \cdot (\Phi_{\text{int,oc}} + \Phi_{\text{int,L}} + \Phi_{\text{int,A}}) = \frac{50}{176} \cdot (7 + 7 + 6) = 5,61 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2},$$

де  $n$  – графік використання, год/тиждень [5];;

$N$  – кількість опалювальних днів;

$\Phi_{\text{int,oc}}$  – метаболічна теплота, Вт/м<sup>2</sup> [5];

$\Phi_{\text{int,L}}$  – освітлення, Вт/м<sup>2</sup> [5];;

$\Phi_{\text{int,A}}$  – обладнання, Вт/м<sup>2</sup> [5];.

$$Q_{\text{int}} = (5,61 \cdot 10850,04) \cdot 744 = 45286,33 \text{ кВт} \cdot \text{год}.$$

Для інших місяців результати занесемо до таблиці 2.15.

Таблиця 2.15 – Внутрішні теплонадходження

Місяць	$\theta_e, \text{ }^{\circ}\text{C}$	$t$	$\Phi_{int}$	$Q_{int}$ кВт·год
1	-4,7	744	5,61	45286,33
2	-3,6	672		40903,78
3	1	744		45286,33
4	9	720		43825,48
5	15,2	744		45286,33
6	18,3	720		43825,48
7	19,8	744		45286,33
8	19	744		45286,33
9	13,9	720		43825,48
10	8,1	744		45286,33
11	1,9	720		43825,48
12	-2,5	744		45286,33
				<b><math>\Sigma 533210=458</math> Гкал</b>

### Сонячні теплонадходження

Джерелом теплових надходжень від сонця є сонячна радіація, режим якої характерний у даній місцевості та визначається орієнтацією сприймаючих поверхонь, постійним чи рухомим затіненням, пропусканням та поглинанням сонячної енергії й характеристиками теплопередачі сприймаючих поверхонь. Коефіцієнт, що включає характеристики та площу сприймаючих поверхонь (включно з впливом затінення), називається еквівалентною площею інсоляції.

Теплонадходження від сонця до зони будівлі, що розглядається, для кожного місяця  $Q_{sol}$ , Вт·год, розраховують за формулою:

$$Q_{sol} = \left( \sum_k \Phi_{sol,mn,k} \right) t,$$

де  $\Phi_{sol,mn,k}$  – усереднений за часом тепловий потік від  $k$ -го джерела сонячного випромінювання, Вт;

$t$  – тривалість місяця, що розглядається, виражена у годинах.

Сонячні теплонадходження через  $k$ -ий елемент будівлі  $\Phi_{sol,k}$ , Вт, визначають за формулою:

$$\Phi_{sol,k} = F_{sh,ob,k} A_{sol,k} I_{sol,k} - F_{r,k} \Phi_{r,k},$$

де  $F_{sh,ob,k}$  – понижувальний коефіцієнт затінення перешкодами для еквівалентної площі інсоляції  $k$ -ої поверхні;

$A_{sol,k}$  – еквівалентна площа інсоляції  $k$ -ої поверхні з даною орієнтацією та кутом нахилу у визначеній зоні чи об'ємі, м<sup>2</sup>;

$I_{sol,k}$  – сонячна радіація, значення енергетичної освітленості сприймаючої площі  $k$ -ої поверхні з даною орієнтацією та кутом нахилу за середніх умов хмарності Вт/м<sup>2</sup>;

$F_{r,k}$  – коефіцієнт форми між елементом будівлі та небосхилом, який приймають:  $F_r = 1$  – для незатіненого горизонтального даху,  $F_r = 0,5$  – для незатіненої вертикальної стіни;

$\Phi_{r,k}$  – додатковий тепловий потік внаслідок теплового випромінювання в атмосферу від  $k$ -го елемента будівлі.

Еквівалентну площу інсоляції **заскленого елемента** оболонки (наприклад, вікна)  $A_{sol}$ , м<sup>2</sup>, розраховують за формулою:

$$A_{sol} = F_{sh,gl} g_{gl} (1 - F_F) A_{w,p},$$

де  $F_{sh,gl}$  – понижувальний коефіцієнт затінення для рухомих засобів[5]. У випадку відсутності засобів рухомого затінення  $F_{sh,gl} = 1$ ;

$g_{gl}$  – загальний коефіцієнт пропускання сонячної енергії світлопрозорої частини елемента;



$F_F$  – частка площі обрамлення, відношення площі проекції обрамлення до загальної площі проекції заскленого елемента;

$A_{w,p}$  – загальна площа проекції заскленого елемента (напр. площа вікна),  $m^2$ .

Для вікон чи інших засклених елементів оболонки з нерозсіювальним склінням коефіцієнт пропускання сонячної енергії для випромінювання, перпендикулярного до скління  $g_n$  необхідно розраховувати з урахуванням оптичних властивостей багатошарового скління.

Через те, що осереднений за часом загальний коефіцієнт пропускання сонячної енергії – це параметр, значення якого дещо нижче за  $g_n$ , то для його обчислення використовують поправочний коефіцієнт  $F_w$ , як наведено у формулі:

$$g_{gl} = F_w g_n,$$

де  $F_w$  – поправочний коефіцієнт для нерозсіюючого скління, приймають  $F_w = 0,90$ .

Еквівалентну площу інсоляції **непрозорої частини оболонки будівлі**  $A_{sol}$ ,  $m^2$ , розраховують за формулою:

$$A_{sol} = \alpha_{s,c} \cdot R_{se} \cdot U_c \cdot A_c,$$

де  $\alpha_{s,c}$  – безрозмірний коефіцієнт поглинання сонячної радіації непрозорою частиною, приймають [5];

$R_{se}$  – тепловий зовнішній поверхневий опір непрозорої частини,  $m^2 \cdot K / Вт$ , приймають  $0,043 m^2 \cdot K / Вт$  [5];

$U_c$  – коефіцієнт теплопередачі непрозорої частини,  $Вт / (m^2 \cdot K)$ ; для фасадної теплоізоляції з вентильованим повітряним прошарком та

вентильованих горищних покриттів значення  $U_c$  необхідно помножити на коефіцієнт 0,04 [5].

Додатковий тепловий потік за рахунок **теплого випромінювання** в атмосферу для відповідного елемента оболонки будівлі  $\Phi_r$ , Вт, визначають за формулою:

$$\Phi_r = R_{se} \cdot U_c \cdot A_c \cdot h_r \cdot \Delta\theta_{er},$$

де  $R_{se}$  – тепловий зовнішній поверхневий опір непрозорої частини,  $\text{м}^2 \cdot \text{К} / \text{Вт}$ , приймають 0,043  $\text{м}^2 \cdot \text{К} / \text{Вт}$  [5];

$U_c$  – коефіцієнт теплопередачі непрозорої частини,  $\text{Вт} / (\text{м}^2 \cdot \text{К})$ ;

$A_c$  – площа проекції елемента,  $\text{м}^2$ ;

$h_r$  – коефіцієнт теплопередачі випромінюванням зовнішньої поверхні,  $\text{Вт} / (\text{м}^2 \cdot \text{К})$ ;

$\Delta\theta_{er}$  – середня різниця між температурою зовнішнього повітря та уявною температурою атмосфери,  $^{\circ}\text{C}$ , для помірних широт приймають  $\Delta\theta_{er} = 11 \text{ К}$ .

Коефіцієнт теплопередачі випромінюванням зовнішньої поверхні  $h_r$ ,  $\text{Вт} / (\text{м}^2 \cdot \text{К})$ , може бути наближено розрахований за формулою:

$$h_r = 4\varepsilon\sigma(\theta_{ss} + 273)^3,$$

де  $\varepsilon$  – коефіцієнт поглинання теплового випромінювання зовнішньою поверхнею огороження, приймають за довідковими даними залежно від її типу;

$\sigma$  – стала Стефана-Больцмана:  $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Вт} / (\text{м}^2 \cdot \text{К}^4)$ ;

Таблиця 2.16 – Для світлопрозорих огорожень

	$A_w, \text{м}^2$	$A_{sol}, \text{м}^2$
Пн	312,73	132,003
Сх	123,46	52,1125
Пд	70,42	29,7243
Зх	123,46	52,1125

Таблиця 2.17 - Для несвітлопрозорих огорожень

	$A_w, \text{м}^2$	$A_{sol}, \text{м}^2$	$\Phi_r, \text{Вт}$
Пн	317,24	4,13373	704,802
Сх	1183,09	15,416	2628,43
Пд	204,76	2,66808	454,908
Зх	1007,42	13,127	2238,15
Дах	1438,65	39,5705	6746,78

Результати розрахунку теплового випромінювання зведемо до таблиці 2.18.

Таблиця 2.18 – Вихідні данні до розрахунку

<i>Місто</i>	<i>Isol, Вт/м<sup>2</sup> (Київ)</i>					
t	Місяць	Пн	Сх	Пд	Зх	горизонт.
744	1	13	21	50	22	32
672	2	24	36	70	38	59
744	3	35	58	90	61	101
720	4	39	77	92	73	149
744	5	56	104	101	99	211
720	6	67	111	96	105	228
744	7	61	108	98	104	220
744	8	40	93	106	89	185
720	9	29	70	102	66	130
744	10	19	38	75	37	71
720	11	11	17	39	17	31
744	12	9	14	35	15	22

## Продовження таблиці 2.18

місяць	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Вікна												
Північ	1087	1813	2927	3156	4683	5422	5101	3345	2347	1589	890	753
Схід	651	1008	1798	2310	3224	3330	3348	2883	2100	1178	510	434
Південь	2804	3545	5047	4993	5664	5210	5495	5944	5535	4206	2116	1963
Захід	682	1064	1891	2190	3069	3150	3224	2759	1980	1147	510	465
Стіни												
Північ	-1015	-777	-706	-629	-411	-248	-341	-636	-765	-931	-1009	-1071
Схід	-231	-160	-98	-29	67	90	82	28	-53	-170	-237	-256
Південь	-351	-137	47	65	157	104	127	207	161	-102	-446	-500
Захід	-227	-153	-87	-43	49	69	67	13	-67	-173	-237	-252
Дах												
	642	646	861	981	1210	1223	1239	1128	922	766	619	611
Сума	4042	6848	1167 9	12993	17711	18347	18341	15670	12160	7509	2715	2145

Загальні теплонадходження складаються з суми додаткових та сонячних:

$$Q_{ht} = Q_{int} + Q_{sol},$$

$$Q_{ht} = 7094,881 + 3214 = 10309 \text{ кВт} \cdot \text{год}.$$

В таблицю 2.19 запишемо загальні теплонадходження по кожному місяцю.

Таблиця 2.19 – Загальні теплонадходження

Місяць	$Q_{int}$ , кВт·год	$Q_{sol}$ , кВт·год	$Q_{ht}$ , кВт·год
1	45286,33	8365	129007
2	40903,78	10990	115294
3	45286,33	17340	111225
4	43825,48	20075	74589
5	45286,33	27126	54353
6	43825,48	28319	40585
7	45286,33	28269	33902
8	45286,33	23823	33211
9	43825,48	18117	50371
10	45286,33	12305	72861
11	43825,48	7184	93953
12	45286,33	6612	116927
			<b><math>\Sigma 926278,9 = 796</math> Гкал</b>

## Динамічні параметри

Динамічний метод моделює теплові опори, теплоємності, теплонадходження від сонця та внутрішніх теплових джерел у зоні будівлі.

У методиці згідно з цим стандартом, динамічні впливи враховують шляхом введення коефіцієнта використання надходжень для опалення та коефіцієнта використання втрат для охолодження. Вплив інерції у випадку переривчастого опалення чи його вимкнення враховується окремо.

### Коефіцієнт використання надходжень для опалення

Безрозмірний коефіцієнт використання надходжень для опалення  $\eta_{H,gn}$  – це функція співвідношення надходжень і втрат теплоти,  $\gamma_H$ , та числового параметра  $a_H$ , який залежить від інерції будівлі, як наведено у формулах :

$$\text{якщо } \gamma_H > 0 \text{ та } \gamma_H \neq 1: \quad \eta_{H,gn} = \frac{1 - \gamma_H^{a_H}}{1 - \gamma_H^{a_H+1}};$$

$$\text{якщо } \gamma_H = 1: \quad \eta_{H,gn} = \frac{a_H}{a_H + 1};$$

$$\text{якщо } : \gamma_H < 0 \text{ та } Q_{H,gn} > 0 \quad \eta_{H,gn} = 1 / \gamma_H;$$

$$\text{якщо } : \gamma_H \leq 0 \text{ та } Q_{H,gn} \leq 0 \quad \eta_{H,gn} = 1;$$

$$\text{при:} \quad \gamma_H = \frac{Q_{H,gn}}{Q_{H,ht}}.$$

де (для кожного місяця та для кожної зони будівлі):

$\gamma_H$  – безрозмірне співвідношення надходжень і втрат теплоти для режиму опалення [5];

$Q_{H,ht}$  – сумарна теплопередача для режиму опалення, Вт·год;

$Q_{H,gn}$  – сумарні теплонадходження для режиму опалення, Вт·год;

$a_H$  – безрозмірний числовий параметр, що залежить від часової константи будівлі,  $\tau_H$ , визначений за формулою:

$$a_H = a_{H,0} + \frac{\tau}{\tau_{H,0}},$$

де  $a_{H,0}$  – довідковий безрозмірний числовий параметр, що приймають рівним 1,0 [5];

$\tau$  – часова константа зони будівлі, год [5];

$\tau_{H,0}$  – довідкова часова константа, що приймають рівною 15 год.

### Часова константа будівлі

Часова константа зони будівлі  $\tau$ , год, характеризує внутрішню теплову інерцію кондиціонованої зони, як для періоду опалення, так і для періоду охолодження. Її розраховують за формулою [5]:

$$\tau = \frac{C_m}{H_{tr,adj} + H_{ve,adj} + H_{ve,extra,adj}},$$

де  $C_m$  – внутрішня теплоємність будівлі або зони будівлі, Вт·год /К;

$H_{tr,adj}$  – репрезентативне значення загального коефіцієнта теплопередачі трансмісією, Вт/К;

$H_{ve,adj}$  – репрезентативне значення загального коефіцієнта теплопередачі вентиляцією, Вт/К.

Репрезентативні значення  $H_{tr,adj}$  і  $H_{ve,adj}$  – є значеннями, що є показовими для домінуючого сезону опалення: місячні величини для січня.

Внутрішню теплоємність будівлі або зони будівлі,  $C_m$ , Вт·год/К, розраховують за формулою:

$$C_m = C \cdot A_f,$$

де  $C$  – внутрішня теплоємність будівлі або зони будівлі на одиницю площі, Вт·год/(м<sup>2</sup>·К);

$A_f$  – кондиціонована площа будівлі або зони будівлі, м<sup>2</sup>.

Данні розрахунки помісячно зведемо до таблиці 2.20.

Таблиця 2.20 – Розрахунки динамічних параметрів на опалення

Місяць	Ст	$\tau$	$\alpha_H$	$\eta_H$	$\gamma_H$	$Q_{h,nd},$ кВт год
1	135625,5	9,59	1,64	0,822644	0,460965	173736
2				0,815735	0,4765	147910,8
3				0,800687	0,510695	128735,5
4				0,76686	0,589819	69261,05
5				0,663539	0,860563	27094,46
6						28453,51
7						13067,54
8						21779,23
9				0,732912	0,673213	37904,5
10				0,797211	0,518673	82390,31
11				0,820058	0,46677	124235,7
12				0,824453	0,456915	159504,9
						<b>Σ1014074</b>

Таблиця 2.21 – Розрахунки динамічних параметрів на охолодження

Місяць	Ст	$\tau$	$\alpha n$	$\eta n$	$\gamma c$	$Q_{c,nd},$ кВт год
1	135625,5	9,59	1,64	0,169568	0,178724	2562,443
2				0,188763	0,200914	2940,013
3				0,24619	0,270872	5375,577
4				0,389301	0,477499	11153,53
5				0,644076	1,088984	28100,29
6				0,843497	2,411983	44628,92
7				0,945554	5,361267	57702,49
8				0,880857	3,006369	46292,03
9				0,540268	0,78088	18003,14
10				0,32932	0,384114	7697,334
11				0,218119	0,235959	3590,797
12				0,178175	0,188607	2669,661
						<b><math>\Sigma 230716,2</math></b>

Розрахунки динамічних параметрів після модернізації школи:

Таблиця 2.22 – Розрахунки динамічних параметрів на опалення

Місяць	Ст	$\tau$	$\alpha_n$	$\gamma_n$	$\eta_n$	$Q_{h,nd},$ кВт год
1	135625,5	14,77	1,98	0,699857	0,772606	8187,39577
2				0,717888	0,765528	6942,14903
3				0,752914	0,751943	6018,66026
4				0,82611	0,724317	3235,19997
5				1,091878	0,633753	1239,18309
6				0	0	0
7				0	0	0
8				0	0	0
9				0,900753	0,697298	1772,47817
10				0,751865	0,752347	3886,37941
11				0,701598	0,77192	5877,43433
12				0,693745	0,775017	7536,22603
						<b><math>\Sigma 48727,12</math></b>

Таблиця 2.23 – Розрахунки динамічних параметрів на охолодження

Місяць	Ст	$\tau$	$\alpha n$	$\gamma c$	$\eta c$	$Q_{c,nd},$ кВт год
1	135625,5	9,59	1,64	0,280586	0,263685	301,2861
2				0,315423	0,292432	354,3485
3				0,425253	0,376013	683,0983
4				0,749646	0,564634	1490,282
5				1,709641	0,818824	3583,816
6				3,786671	0,945529	5149,268
7				8,416874	0,986712	6184,558
8				4,719823	0,962552	5212,327
9				1,225935	0,728178	2372,272
10				0,603037	0,489325	1017,471
11				0,370442	0,335642	446,167
12				0,296103	0,27662	317,5694
						<b><math>\Sigma 27112,46</math></b>

Зведена таблиця розрахунків теплової частини наведена у табл. 2.8.



Таблиця 2.8 – Розрахунки теплової частини

№	Найменування	Позначення	Одиниця виміру	Значення
Вихідні дані				
1	Площа стін	$F_{\text{стін}}$	$\text{м}^2$	2712,51
2	Площа дверей	$F_{\text{дверей}}$	$\text{м}^2$	32,41
3	Площа вікон	$F_{\text{вікна}}$	$\text{м}^2$	637,65
4	Площа стелі	$F_{\text{стеля}}$	$\text{м}^2$	1438,65
5	Площа підлоги	$F_{\text{підлога}}$	$\text{м}^2$	1438,65
7	Кількість людей	$n$		690
8	Розрахункова температура опалювальних приміщень	$t_{\text{вн}}$	$^{\circ}\text{C}$	+21
9	Температура зовнішнього повітря	$t_{\text{зовн}}$	$^{\circ}\text{C}$	-22
10	Приведений опір теплопередачі стін	$R_{\Sigma \text{пр с}}$	$\text{м}^2 \cdot \text{K/Вт}$	0,99
11	Приведений опір теплопередачі вікон	$R_{\Sigma \text{пр в}}$	$\text{м}^2 \cdot \text{K/Вт}$	0,45/0,6
12	Приведений опір теплопередачі дверей	$R_{\Sigma \text{пр д}}$	$\text{м}^2 \cdot \text{K/Вт}$	0,37/0,21
13	Приведений опір теплопередачі стелі	$R_{\Sigma \text{пр ст}}$	$\text{м}^2 \cdot \text{K/Вт}$	0,37
14	Приведений опір теплопередачі підлоги	$R_{\text{підлоги}}$	$\text{м}^2 \cdot \text{K/Вт}$	1,517
15	Тепловтрати через зовнішні стіни	$Q_{\text{ст}}$	$\text{кВт}$	117,8
16	Тепловтрати через вікна	$Q_{\text{в}}$	$\text{кВт}$	50,03
17	Тепловтрати через двері	$Q_{\text{дв}}$	$\text{кВт}$	5,55
18	Тепловтрати через стелю	$Q_{\text{стеля}}$	$\text{кВт}$	167,02
19	Тепловтрати через підлогу	$Q_{\text{п}}$	$\text{кВт}$	40,76
20	Тепловтрати внаслідок орієнтації школи	$Q_{\text{ст}}^{\text{дод}}$	$\text{кВт}$	6,8
21	Втрати на інфільтрацію повітря школи	$Q_{\Sigma}^{\text{інф}}$	$\text{кВт}$	70,71
22	Втрати теплоти в трубопроводах системи опалення, що проходять по не опалювальним підвалам і підпіллям	$Q_2$	$\text{кВт}$	8,95
23	Надходження теплоти від людей	$Q_3$	$\text{кВт}$	18,78
24	Надходження теплоти від електрообігрівачів	$Q_4$	$\text{кВт}$	2,2
25	Надходження теплоти від освітлювальних приладів	$Q_{\text{осв}}$	$\text{кВт}$	2,69
26	Надходження теплоти від Сонячної радіації	$Q_{\text{сон}}$	$\text{кВт}$	10,83

## 2.6 Перелік можливих енергозберігаючих заходів для впровадження на об'єкті

1. Проведення термоізоляції зовнішніх стін;
2. Заміна вікон;
3. Улаштування теплоізоляційного рефлектора;
4. Очищення теплообмінника;
5. Утеплення даху.

Економія грошових коштів розраховується за тарифом теплової енергії, що складає –1866,5 грн та дійсний з 23 липня 2018 року.

### Захід з енергозбереження №1 – Проведення термоізоляції зовнішніх стін

Для ізоляції огорожувальних конструкцій необхідно визначити товщину та матеріал ізоляції для отримання нормативних значень опорів теплопередачі. Товщина ізоляції обчислюється за формулою:

$$\delta_{i3} = \left[ R_{\min} - \left( \frac{1}{\alpha_g} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_3} \right) \right] \cdot \lambda_{i3} = (R_{\min} - R_{\text{факт}}) \cdot \lambda_{i3},$$

де:  $R_{\min}$  – мінімальний допустимий опір теплопередачі,  $\frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}}$ ;

$R_{\text{факт}}$  – фактичний опір теплопередачі,  $\frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}}$ ;

$\lambda_{i3}$  - коефіцієнт теплопровідності ізоляції  $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$ .

Для утеплення огорожувальних конструкцій обираємо плити кам'яної вати на основі базальтових порід фірми ROCKWOOL марки FRONTROCK S з

$$\lambda_{i3} = 0,039 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}.$$

Мінімальне допустиме значення опору теплопередачі непрозорої огорожувальної конструкції  $R_{q \min} = 3,3 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$ , тоді шар ізоляції рівний:

$$\delta_{iz} = (3,3 - 0,99) \cdot 0,039 \cdot 10^3 = 90 \text{ мм.}$$

Виходячи із розрахунків приймаємо необхідну товщину ізоляції 100 мм.

$$R_{\Sigma} = 0,99 + \frac{0,100}{0,039} = 3,46 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}}.$$

Утеплення призведе до зменшення основних і додаткових тепловтрат через зовнішні стіни. Нові значення складатимуть:

$$Q_{ct} = \frac{2712,51}{3,46} \cdot (21 + 22) \cdot 1 \cdot 10^{-3} = 33,71 \text{ кВт.}$$

$$Q_{н.з.} = \frac{2712,51}{3,46} \cdot (21 + 0,1) \cdot 1 \cdot 10^{-3} = 16,54 \text{ кВт.}$$

$$Q_{ct, н.з.}^{доо} = 16,54 \cdot 0,1 = 1,654 \text{ кВт.}$$

Теплоспоживання об'єкта обчислюється як:

$$W = 0,86 \cdot Q \cdot S \cdot 24 \cdot 10^{-3}, \text{ Гкал,}$$

де:  $Q$  – тепловтрати об'єкта за середньою температурою, кВт;

$S$  – кількість діб опалювального періоду,  $S=176$ .

Зменшення тепловтрат при впровадженні утеплення зовнішніх стін складає:

$$\Delta Q_{н.з.} = 57,8 - 16,54 = 41,26 \text{ кВт.}$$

Тоді економія теплоспоживання становить:

$$W = 0,86 \cdot 41,26 \cdot 24 \cdot 176 \cdot 10^{-3} = 149,8 \text{ Гкал.}$$

Таким чином, внаслідок утеплення зовнішніх стін економія грошових коштів дорівнює:

$$\Delta P = 149,8 \cdot 1866,5 = 279601 \text{ грн.}$$

Вартість 1 м<sup>2</sup> утеплювача ROCKWOOL марки FASROCKS товщиною 100 мм становить 445 грн .

Орієнтовна кошторисна вартість утеплення фасаду з урахуванням додаткових витрат на матеріали становить – **2563321 грн** [8].

Термін окупності утеплення фасаду:

$$T_{ок} = \frac{I}{\Delta P},$$

$$T_{ок} = \frac{2563321}{279601} = 9 \text{ років.}$$

### Захід з енергозбереження №2 – Заміна вікон

Розрахунки існуючого стану тепловтрат показали, що наявні суттєві тепловтрати через зовнішні вікна. Рекомендується замінити дерев'яні вікна площею 239,66 м<sup>2</sup> на нові з енергозберігаючим двокамерним склопакетом. Енергозберігаючі склопакети виробляють із скла з напиленням іонів срібла. Опір теплопередачі для таких вікон становить 0,75 (м<sup>2</sup>·К)/Вт.

Розрахуємо тепловтрати через нові енергозберігаючі вікна:

$$Q = \frac{F}{R} \cdot (t_{\text{в}} - t_{\text{з.о.}}).$$

$$Q_{\text{вікна}} = \frac{239,66}{0,75} \cdot (21 + 22) \cdot 10^{-3} = 13,74 \text{ кВт.}$$

$$Q = \frac{F}{R} \cdot (t_{\text{в}} - t_{\text{з.ср.}}).$$

$$Q_{\text{вікна}} = \frac{239,66}{0,75} \cdot (21 + 0,1) \cdot 10^{-3} = 6,74 \text{ кВт}.$$

Отже економія тепловтрат складатиме:

$$\Delta Q_{\text{вікна}} = 11,44 - 6,74 = 4,7 \text{ кВт}.$$

Тоді економія теплоспоживання становить:

$$W = 0,86 \cdot 24 \cdot 4,7 \cdot 176 \cdot 10^{-3} = 17,07 \text{ Гкал}.$$

Таким чином, внаслідок заміни вікон економія грошових коштів становить:

$$P = 17,07 \cdot 1866,5 = 31861 \text{ грн}.$$

Вартість 1 м<sup>2</sup> енергозберігаючого двокамерного вікна фірми RENAУ Ecosol-Design – 1800 грн.

Орієнтовна кошторисна вартість заміни вікон становить **457750 грн** [9].

Термін окупності заміни вікон становить:

$$T_{\text{ок}} = \frac{457750}{31861} = 14 \text{ років}.$$

### **Захід з енергозбереження №3 - Улаштування теплоізоляційного рефлектора**

Радіатори системи опалення розташовуються, частіше за все, під вікнами. Таким чином частина теплового потоку від радіаторів витрачається на прогрів стіни.

Найпростіший спосіб збільшення температури в приміщеннях на кілька градусів - використання тепловідбиваючого матеріалу. Для збільшення тепловіддачі за батареї поміщають теплоізоляційний рефлектор завтовшки 5 – 7 мм з поверхнею із фольги (наприклад, пінофол, пінопропілен).

Тепловідбиваючий матеріал з поверхнею із фольги перешкоджає нагріванню стіни та підвищує температуру у приміщенні на 2 – 3 градуси без додаткових витрат на збільшення температури теплоносія.

Площа стін, що знаходиться за радіаторами (площа, на яку необхідно буде встановити екрани) становить  $F_{ст.рад.} = 136 м^2$ .

Втрати через таку площу стіни до встановлення екранів:

$$Q_{ст.рад.} = F_{ст.рад.} \cdot k_{ст.} \cdot (t_г - t_н) \cdot \beta_{эл.ст.} = 136 \cdot 1,01 \cdot (21 + 0,1) \cdot 1,1 = 3,18 \text{ кВт}.$$

Втрати через таку площу стіни після встановлення екранів:

$$Q_{ст.рад+екр.} = F_{ст.} \cdot \frac{1}{k_{ст.} + k_{екр.}} \cdot (t_г - t_н) \cdot \beta_{эл.ст.} = 136 \cdot \frac{1}{1,01 + 0,049} \cdot (21 + 0,1) \cdot 1,1 = 2,98 \text{ кВт}.$$

Різниця між втратами:

$$Q_{\Delta} = Q_{ст.рад.} - Q_{ст.рад+екр.} = 3,18 - 2,98 = 0,2 \text{ кВт} = 171,96 \frac{\text{ккал}}{\text{год}}.$$

На даний момент плата за 1 Гкал складає 1866,5 грн/Гкал. Для шкіл в м.Києві тривалість опалювального сезону приймаємо 176 діб.

Знайдемо економію теплоти за опалювальний сезон:

$$Q_{\Delta \text{річ}} = Q_{\Delta} \cdot 24 \cdot 176 = 171,96 \cdot 24 \cdot 176 = 726359,04 \frac{\text{ккал}}{\text{рік}} = 0,726 \frac{\text{Гкал}}{\text{рік}}.$$

Річна економія витрат становитиме:

$$B = Q_{\Delta \text{річ}} \cdot b = 0,726 \cdot 1866,5 = 1355 \frac{\text{грн}}{\text{рік}}.$$

Витрати на встановлення екранів (обираємо екран товщиною 3 мм, вартістю 50 грн./м<sup>2</sup>) становитимуть:

$$K = F_{ст.рад.} \cdot \text{Ц} = 136 \cdot 50 = 6800 \text{ грн}.$$

Термін окупності проекту:

$$T = \frac{K}{B} = \frac{6800}{1355} = 5 \text{ років.}$$

Оскільки термін окупності не значний, то даний ЗЕЗ може бути прийнятий як необхідний. Зважаючи на те, що термін служби пінофолу складає від 30 до 50 років, а витрати на його встановлення не значні.

#### **Захід з енергозбереження №4 – Очищення теплообмінника**

Дуже рідко в обох контурах теплообмінника використовується дистильована вода або Antifrogen, тому неминуче утворення органічних і неорганічних відкладень. Також не рідкісні випадки механічних засмічень пластинчастих теплообмінників через попадання в воду крупного сміття, яке застряє між пластинами.

Все це призводить до погіршення фізичних параметрів теплообмінника (коефіцієнт теплопередачі, тиск в системі, витрата води), підвищення витрат на енергоресурси, а в окремих випадках і до виведення з ладу теплообмінника, аж до аварійних ситуацій.

За 2017 рік школа спожила – 640,32 Гкал. При забрудненні теплообмінного апарата коефіцієнт теплопередачі зменшується на 10-15%. В таких випадках рекомендовано проводити його очистку.

При зменшенні коефіцієнта теплопередачі на 10% від теплообмінника до школи не надходить необхідна кількість теплоти, а саме:

$$Q_{\Delta} = Q_1 \cdot 0,1 = 640,32 \cdot 0,1 = 64,032 \text{ Гкал.}$$

Очищення теплообмінника призведе до збільшення надходження теплової енергії до школи та до створення комфортних умов перебування у приміщенні.

### Захід з енергозбереження №5 – Утеплення даху

Для ізоляції даху необхідно визначити товщину та матеріал ізоляції для отримання нормативних значень опорів теплопередачі. Товщина ізоляції обчислюється за формулою:

$$\delta_{iz} = \left[ R_{\min} - \left( \frac{1}{\alpha_g} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_3} \right) \right] \cdot \lambda_{iz} = (R_{\min} - R_{факт}) \cdot \lambda_{iz},$$

де:  $R_{\min}$  – мінімальний допустимий опір теплопередачі,  $\frac{m^2 \cdot K}{Bm}$ ;

$R_{факт}$  – фактичний опір теплопередачі,  $\frac{m^2 \cdot K}{Bm}$ ;

$\lambda_{iz}$  - коефіцієнт теплопровідності ізоляції  $\frac{Bm}{m^2 \cdot K}$ .

Для утеплення даху обираємо мінеральну вату фірми ISOVER з

$$\lambda_{iz} = 0,037 \frac{Bm}{m^2 \cdot K}.$$

Мінімальне допустиме значення опору теплопередачі даху

$$R_{q \min} = 4,95 \frac{m^2 \cdot K}{Bm},$$

Тоді шар ізоляції рівний:

$$\delta_{iz} = (4,95 - 0,37) \cdot 0,037 \cdot 10^3 = 170 \text{ мм.}$$

Виходячи із розрахунків приймаємо необхідну товщину ізоляції 150 мм та 30 мм.

$$R_{\Sigma} = 0,37 + \frac{0,18}{0,037} = 5,2 \frac{m^2 \cdot K}{Bm}.$$

Утеплення призведе до зменшення основних тепловтрат через дах.

Нові значення складатимуть:

$$Q_{даху} = \frac{1438,65}{5,2} \cdot (21 + 22) \cdot 10^{-3} = 11,8 \text{ кВт.}$$



$$Q_{\text{даху}} = \frac{1438,65}{5,2} \cdot (21 + 0,1) \cdot 10^{-3} = 5,8 \text{ кВт.}$$

Зменшення тепловтрат при впровадженні утеплення даху складає:

$$\Delta Q_{\text{даху}} = 82,04 - 5,8 = 76,24 \text{ кВт.}$$

Тоді економія теплоспоживання становить:

$$W = 0,86 \cdot 76,24 \cdot 24 \cdot 176 \cdot 10^{-3} = 277 \text{ Гкал.}$$

Таким чином, внаслідок утеплення даху економія грошових коштів дорівнює:

$$\Delta P = 277 \cdot 1866,5 = 517020 \text{ грн.}$$

Вартість 1 м<sup>2</sup> утеплювача фірми ISOVER товщиною 180 мм становить 795 грн. Вартість проведення робіт з гідроізоляції за 1 м<sup>2</sup> в середньому становить 150 грн. Вартість руберойду за 1 м<sup>2</sup> - 40 грн. Вартість проведення робіт з утеплення даху від 400 грн/ м<sup>2</sup> [10,11].

Орієнтовна кошторисна вартість утеплення даху становить – **1992529 грн.**

Термін окупності утеплення становить:

$$T_{\text{ок}} = \frac{1992529}{520566} = 4 \text{ роки.}$$

### Визначення класу енергетичної ефективності

Знайдемо різницю у % розрахункового або фактичного значення питомої енергопотребы до запровадження заходів з енергозбереження від максимально допустимого значення,  $EP_{\text{max}}=30$ :

$$\frac{EP - EP_{\text{max}}}{EP_{\text{max}}} \cdot 100\% = \frac{94 - 30}{30} \cdot 100\% = 213\%.$$

За класифікацією будинків за енергетичною ефективністю клас енергоефективності даного будинку G, так як співвідношення потрапляє в інтервал від 76 % та більше.

Знайдемо різницю у % розрахункового або фактичного значення питомої енергопотреби **після запровадження** заходів з енергозбереження від максимально допустимого значення,  $EP_{\max}=30$ :

$$\frac{EP - EP_{\max}}{EP_{\max}} \cdot 100\% = \frac{23,32 - 30}{30} \cdot 100\% = -22\%.$$

За класифікацією будинків за енергетичною ефективністю клас енергоефективності даного будинку B, так як співвідношення потрапляє в інтервал від -45 до -10 %.

### Висновки до розділу

У даному розділі розраховано тепловтрати за середньою та максимальною температурами, нормативним методом та за збільшеними показниками.

Нормативний метод враховує додаткові показники та дає більш точні результати розрахунку.

Теплоспоживання після проведення розрахунку склало – 1014074 (кВт·год)/рік та має орієнтовно однакові дані з розрахунком за середньою та максимальною температурами з тепло споживанням – 1012426 (кВт·год)/рік. Однак показники лічильника, які були надані Солом'янською адміністрацією за 2017 рік, складають – 744558 (кВт·год)/рік.

Тобто, школа має недотопи. У зв'язку з цим були запропоновані наступні заходи з енергозбереження:

1. проведення термоізоляції зовнішніх стін;
2. заміна вікон;
3. улаштування теплоізоляційного рефлектора;

## 4. утеплення даху.

Після модернізації школи, споживання теплової енергії складає – 361511 (кВт·год)/рік. Результати впровадження заходів з енергозбереження наведено у таблиці.

Таблиця – Заходи з енергозбереження теплової енергії

№	Назва	Річна економія теплоспоживання $\Delta W$ , Гкал/рік	Річна економія грошових коштів $E$ , $\frac{\text{грн}}{\text{рік}}$	Грошові витрати на впровадження ЗЕЗ $I$ , грн	Простий термін окупності $T_{OK}$ , років
1	Проведення термоізоляції зовнішніх стін	149,8	279601	2563321	9
2	Заміна вікон	17,07	31861	457750	14
3	Улаштування теплоізоляційного рефлектора	0,726	1355	6800	5
4	Утеплення даху	277	517020	1992529	4

## РОЗДІЛ 3 ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНА ЧАСТИНА

### 3.1 Опис схеми зовнішнього електропостачання об'єкта

Спеціалізована школа №324 отримує живлення від трансформаторної підстанції, що знаходиться на балансі ПрАТ «ДТЕК Київські електромережі», за допомогою кабельної лінії АВВГ 3×185+1×95. Відстань від трансформаторної підстанції до об'єкту складає 250 м. На ТП 5668 встановлено два трансформатора ТМ 1000/10, що резервують один одного. Джерелом живлення ТП є РП – 56 та РП – 160.

2 комірки є ввідними. В кожній з них встановлено трансформатори струму та вакуумні вимикачі. 2 комірки є комірками власних потреб, вони містять трансформатори напруги та запобіжники.

Паспортні дані трансформаторів приведені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Паспортні дані трансформаторів

Назва	$S_H$ , кВА	$\Delta P_{xx}$ , кВт	$\Delta P_{K3}$ , кВт	$I_{xx}$ , %	$U_{K3}$ , %
ТМ-1000/10	1000	1,9	12,2	1,7	5,5

### 3.2 Опис схеми внутрішнього електропостачання об'єкта

Система внутрішнього електропостачання розподіляє електрику, що надходить від ТП по будівлі школи. Щитова кімната в якій розміщено електричний ввід в будівлю знаходиться на першому поверсі. Дане обладнання знаходиться на балансі школи. Розподільні щитки, через які відбувається розподіл електричної енергії споживачам, знаходяться на кожному поверсі об'єкта.

Так як школа орієнтовно поділена на дві частини, розподільні щитки знаходяться у кожному крилі будівлі та містять у собі вимикачі на кожен кабінет поверху. Окремо виведено рубильник на освітлення коридору.

Об'єкт відноситься до II категорії надійності, так як має два трансформатори (один з яких у випадку аварійної ситуації резервує живлення школи).

Облік електричної енергії здійснюється за допомогою двох лічильників «NIK 2301 AK1», що встановлені на межі експлуатаційної відповідальності між школою і електропередавальною організацією.

Параметри лічильника:

- вимірює активну електроенергію змінного струму частотою 50 Гц в трьохфазних електричних мережах з нульовим проводом. Лічильник підключається безпосередньо до електричної мережі та може експлуатуватися за таких кліматичних умов:

- граничний робочий діапазон температур від  $-40^{\circ}\text{C}$  до  $+55^{\circ}\text{C}$ ;
- відносна вологість до 90% при температурі  $+35^{\circ}\text{C}$ .
- по точності обліку електричної енергії лічильник відповідає класу 1.0.
- граничний діапазон напруг від 176 В до 420 В.
- номінальна сила струму 5 А.

У школі передбачений лише комерційний облік електричної енергії, технічний облік відсутній.

Схема підключення лічильна зображена на рисунку 3.1.

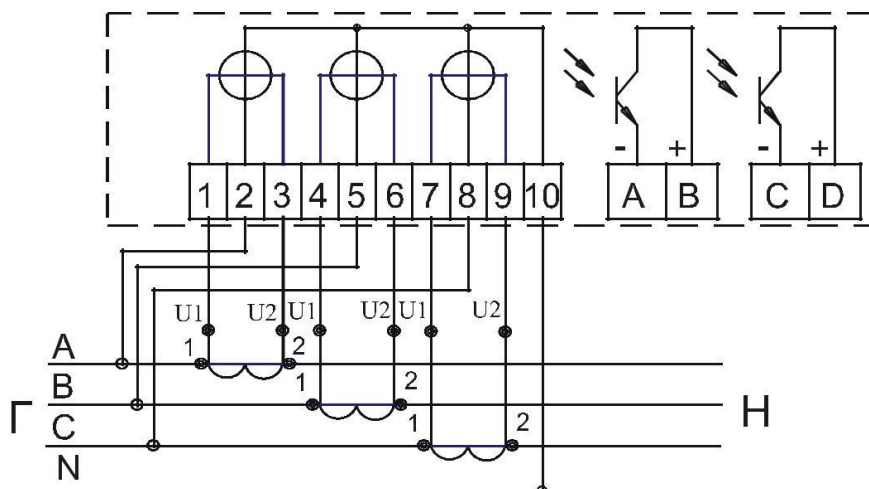


Рисунок 3.1 – Схема підключення лічильна «NIK 2301 AK1»

### 3.3 Характеристика основних споживачів електроенергії об'єкта

Розрахунок основних споживачів електричної енергії проведемо на характерному зимовому та літньому місяці : січень та червень 2017 року відповідно. Були визначені наступні групи споживачів:

1. Силові електроприймачі
2. Система освітлення
3. Розеткове обладнання

Споживання електричної енергії відповідної одиниці обладнання розраховується за формулою:

$$W_i = P_{вст} \cdot n \cdot k_{\text{в}} \cdot T_{\text{роб}},$$

де:  $P_{\text{вст}}$  - встановлена потужність одиниці відповідного обладнання, кВт, яка береться з паспортних даних обладнання;

$n$  - кількість одиниць обладнання, шт;

$k_{\text{в}}$  - коефіцієнт використання встановленої потужності;

$T_{\text{роб}}$  - тривалість роботи відповідного обладнання за місяць.

Тривалість роботи обладнання беремо виходячи з режиму роботи школи в січні та червні відповідно. Розрахункове значення витрат електроенергії за січень 2017 року наведено у таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Розрахункове значення витрат електроенергії за січень 2017 р.

№	Найменування обладнання	Встановлена потужність, кВт	Кількість, шт	Загальна встановлена потужність, кВт	Коефіцієнт використання	Середня потужність обладнання, кВт	Тривалість роботи за місяць, год	Загальне енергоспоживання, кВт*год
1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>Система освітлення</b>								
1	Лампи розжарювання	0,1	37	3,7	0,9	3,33	165	549,45
2	Люмінесцентні лампи	0,018	448	8,064	0,85	6,85	110	753,98
<b>Разом</b>								<b>1303,4</b>
<b>Розеткове обладнання</b>								
3	Комп'ютери	0,5	60	26,5	0,8	21,2	70	1680
4	Ноутбук	0,5	16	1	0,6	0,6	150	720
5	Принтер	0,6	16	9,6	0,75	7,2	20	144
6	Телевізор	0,15	8	0,9	0,6	0,54	30	21,6
7	Кондиціонер	2,8	4	11,2	0,7	7,84	15	117,6
8	Інтерактивні дошки	0,9	3	2,7	0,8	2,16	100	216
9	Обігрівач	1,5	12	15,2	0,5	7,6	150	1350
10	Чайник	1,6	12	14,4	0,7	10,08	80	1075,2
11	Бойлер	1,5	4	6	0,6	3,6	180	648,0
<b>Разом</b>								<b>5972,4</b>
<b>Силове обладнання</b>								
11	Циркуляційний насос	5,5	1	5,5	0,9	4,95	360	1782
<b>Всього</b>								<b>9057,9</b>

Розрахункове значення витрат електроенергії за червень 2017 року наведено у таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Розрахункове значення витрат електроенергії за червень 2017р.

№	Найменування обладнання	Встановлена потужність, кВт	Кількість, шт	Загальна встановлена потужність, кВт	Коефіцієнт використання	Середня потужність обладнання, кВт	Тривалість роботи за місяць, год	Загальне енергоспоживання, кВт*год
1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>Система освітлення</b>								
1	Лампами розжарювання	0,1	37	3,7	0,9	3,33	20	66,6
2	Люмінесцентні лампи	0,018	448	8,064	0,85	6,85	10	68,5
<b>Разом</b>								<b>135,1</b>
<b>Розеткове обладнання</b>								
3	Комп'ютери	0,5	60	26,5	0,8	21,2	35	840
4	Ноутбук	0,5	16	1	0,6	0,6	45	216
4	Принтер	0,3	16	4,8	0,75	3,6	15	54
5	Телевізор	0,15	8	0,9	0,6	0,54	10	7,2
6	Кондиціонер	2,8	4	11,2	0,7	7,84	40	313,6
7	Інтерактивні дошки	0,9	3	2,7	0,8	2,16	15	32,4
8	Обігрівач	1,9	12	15,2	0,5	7,6	0	0
9	Чайник	1,6	12	14,4	0,7	10,08	15	201,6
10	Бойлер	1,5	4	6	0,6	3,6	70	252
<b>Разом</b>								<b>1916,8</b>
<b>Силове обладнання</b>								
10	Циркуляційний насос	5,5	1	5,5	0,9	4,95	0	0
<b>Всього</b>								<b>2051,9</b>

Наведемо проведені розрахунки у вигляді діаграм електричного балансу за січень та червень 2017 року на рисунку 3.2 та 3.3 відповідно.



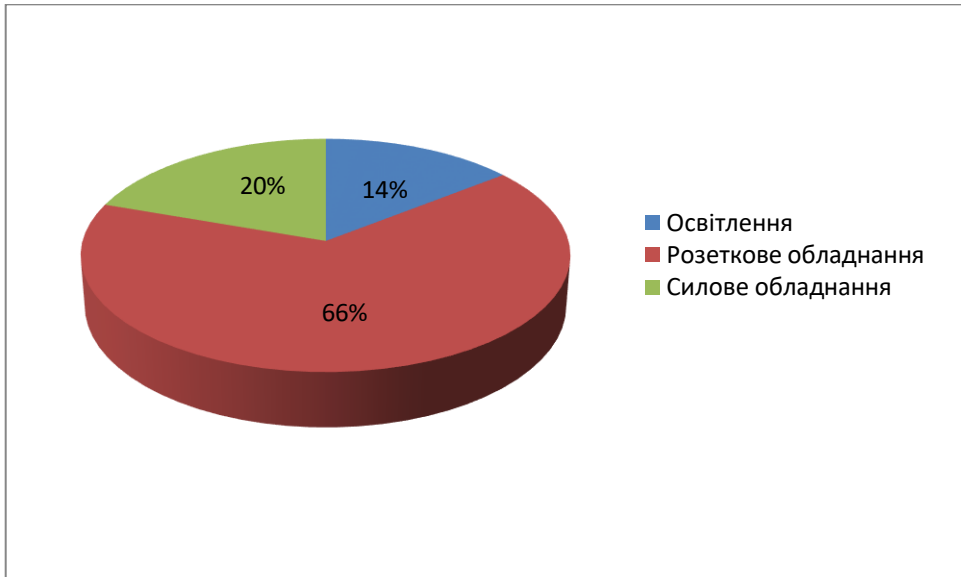


Рисунок 3.2— Діаграма електричного балансу за січень 2017 року

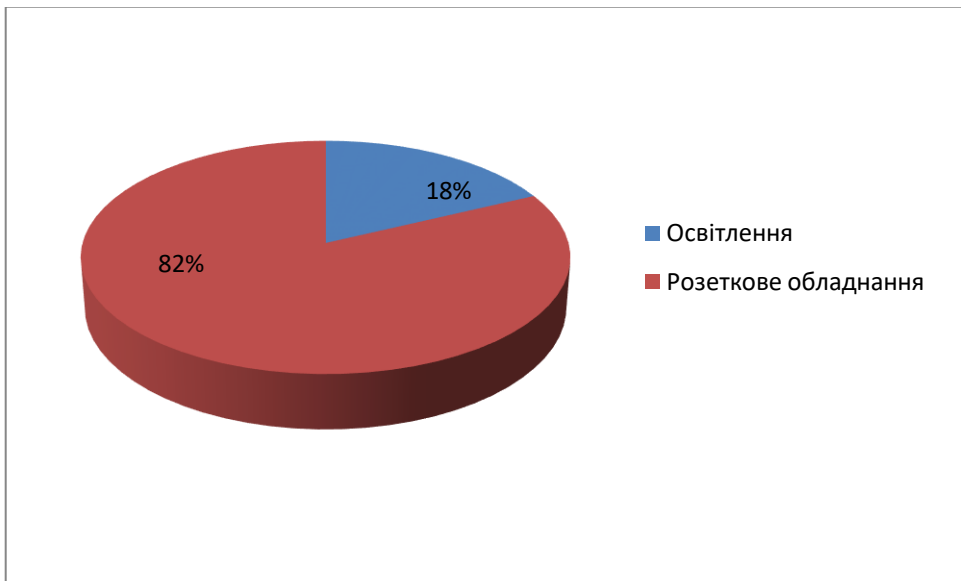


Рисунок 3.3 – Діаграма електричного балансу за червень 2017 року

У балансі електричної енергії за січень 2017 та червень 2017 року більшу частку займає розеткове обладнання – 66 % відповідно від загального споживання. У літній період значне споживання електричної енергії відноситься до офісної техніки у зв'язку з тим, що у школі в цей період відбувається практика та додаткові курси.

Знайдемо відносне відхилення фактичного і розрахункового споживання електричної енергії:

– січень 2017 року:

$$\delta W_{2017} = \frac{W_{\phi} - W_p}{W_{\phi}} \cdot 100 = \frac{|10016 - 9057,9|}{10016} \cdot 100 = 9,56\%.$$

– червень 2017 року:

$$\delta W_{2017} = \frac{W_{\phi} - W_p}{W_{\phi}} \cdot 100 = \frac{|2110 - 2051,9|}{2110} \cdot 100 = 2,75\%.$$

де  $W_{\phi}$  - фактичне споживання електроенергії за січень та червень 2017 року надане Солом'янською адміністрацією та наведено у Розділ 1.

Отже, відхилення не перевищує допустиме значення, 10%.

### 3.4 Розрахунок електричних навантажень об'єкту

#### Навантаження системи освітлення

Розрахункову активну потужність освітлювальних установок  $P_{po}$  розраховуємо за виразом:

$$P_{po} = \sum_i^m n_i \cdot P_{n,i} \cdot \kappa_{n,i},$$

де  $n$  - кількість ламп;

$P_n$  - номінальне освітлювальне навантаження ламп, кВт;

$\kappa_n$  - коефіцієнт попиту освітлення ( $\kappa_n=1$  для зовнішнього освітлення,  $\kappa_n = 0,95$  - для внутрішнього освітлення).

Таблиця 3.4 – Характеристика ламп

№	Найменування	Тип лампи	$\cos\varphi$	$\operatorname{tg}\varphi$	Кількість лампочок n, шт	Потужність 1-ї лампочки, кВт	$P_{po}$ , кВт	$Q_{po}$ , квар
1		ЛЛ	0,95	0,32	448	0,018	7,66	3,67
		ЛР	1	0	37	0,1	3,7	1,77
	<b>Разом</b>						<b>11,36</b>	<b>5,45</b>

За таблицею 3.4, використовуючи кількість ламп та їх потужність, розраховуємо розрахункову активну потужність:

$$P_{po} = 448 \cdot 0,018 \cdot 0,95 + 37 \cdot 0,1 \cdot 1 = 11,36 \text{ кВт.}$$

Розрахункову реактивну потужність  $Q_{po}$  розрахуємо за виразом:

$$Q_{po} = P_{po} \cdot \operatorname{tg}\varphi,$$

де  $\operatorname{tg}\varphi$  - тангенс кута зсуву фаз.

$$Q_{po} = 11,36 \cdot 0,32 = 3,63 \text{ квар.}$$

### Перевірка рівня освітлення школи

Перевірку освітлення проведемо для шкільного учбового класу за точковим методом.

Габаритні розміри шкільного учбового класу:

- висота Н – 3 м;
- ширина В – 6 м;
- довжина А – 9 м;

В якості освітлення використовуються світильники в яких знаходиться по 2 люмінесцентні лампи потужністю 18 Вт.

Світильники встановлюються безпосередньо на стелі кабінету. Висота робочої поверхні приймається рівною  $h_p = 0,8$  м. Висота світильників над робочою поверхнею становить:

$$h = H - h_p = 3 - 0,8 = 2,2 \text{ м.}$$

Схема розташування світильників вказана на рисунку 3.4.

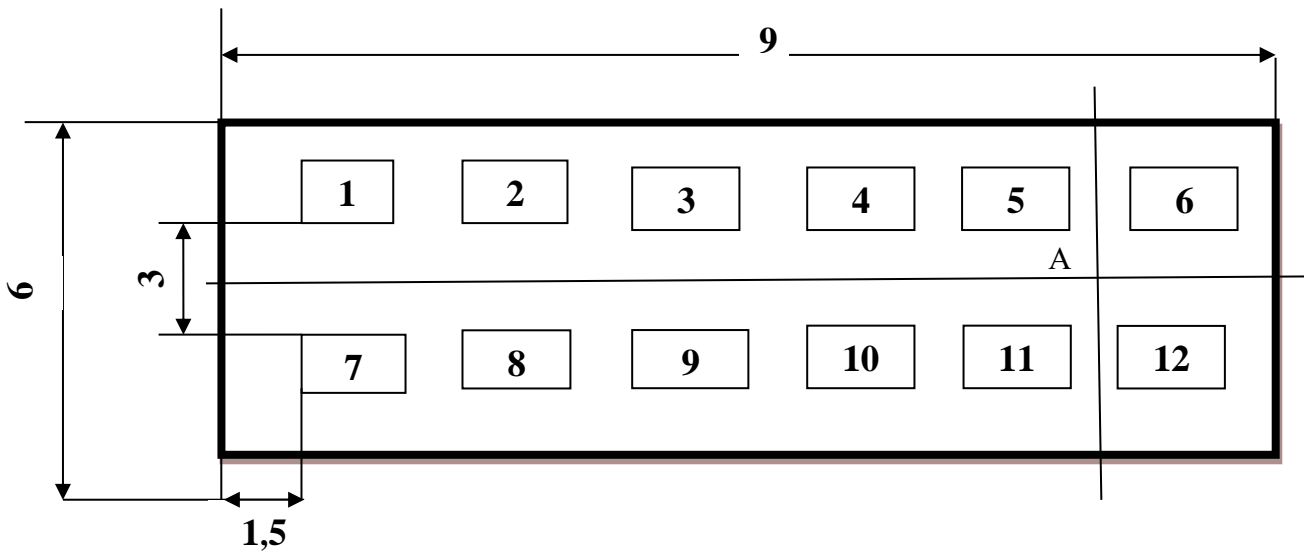


Рисунок 3.4 – Схема розташування світильників

Питомий світловий потік з одного метру світлової лінії, лм/м:

$$F' = \frac{1000 \cdot E_{\min} \cdot K_3 \cdot h}{\mu \cdot \sum_{i=1}^m \varepsilon_i},$$

де  $E_{\min}$  - мінімальна освітленість для учбового кабінету. Приймаємо відповідно до ДБН «Інженерне освітлення»  $E_{\min} = 400$  лк;

$\mu$  - коефіцієнт неврахування освітленості,  $\mu = 1,1 - 1,2$ ;

$\sum_{i=1}^n e$  - сумарна відносна освітленість;

$K_3$  - коефіцієнт запасу,  $k_3 = 1,1 \dots 1,5$ ;

$h$  - висота світильників над робочою поверхнею.

Розраховуємо значення відносних розмірів, м:

$$L'_1 = \frac{6-1,5}{2,2} = 2, \quad p'_1 = \frac{1,5}{2,2} = 0,68;$$

$$L'_2 = \frac{1,5}{2,2} = 0,68, \quad p'_1 = \frac{1,5}{2,2} = 0,68;$$

$$L'_3 = \frac{6-1,5}{2,2} = 2, \quad p'_3 = \frac{1,5}{2,2} = 0,68.$$

$$L'_4 = \frac{1,5}{2,2} = 0,68, \quad p'_4 = \frac{1,5}{2,2} = 0,68;$$

Для люмінесцентних ламп користуються кривими відносних ізолюкс, які представлено на рисунку 3.5.

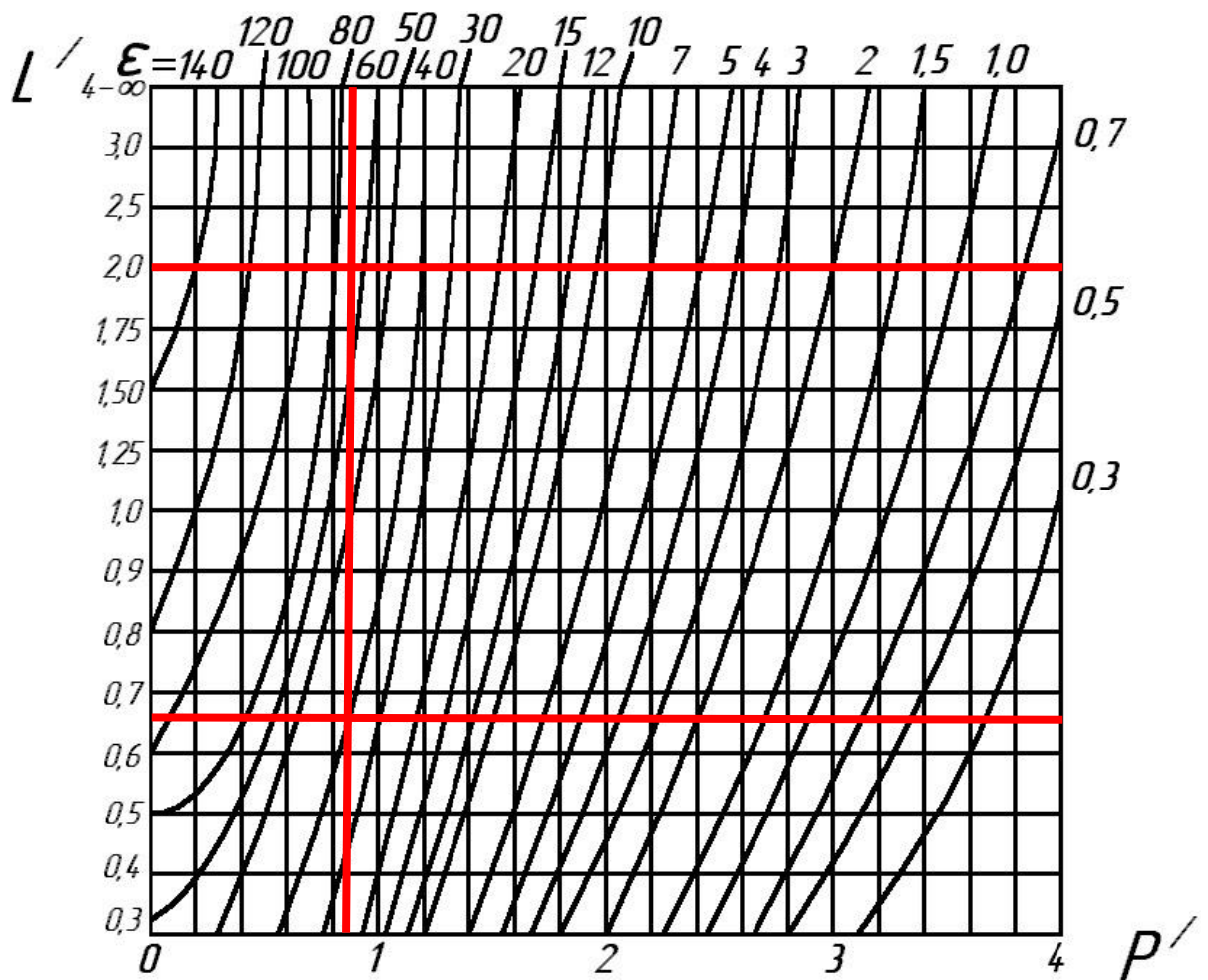


Рисунок 3.5 – Крива відносних ізолюкс

Знаходимо значення  $\varepsilon$  (рис. 3.5) для люмінесцентних ламп, як функцію відносних розмірів  $p'$  та  $L'$ :  $\varepsilon_1=65$ ,  $\varepsilon_2=40$ ,  $\varepsilon_3=65$ ,  $\varepsilon_4=40$ .

Питомий світловий потік складатиме:

$$F' = \frac{1000 \cdot 400 \cdot 1,1 \cdot 2,2}{1,1 \cdot (65 + 40 + 65 + 40)} = 4190,47 \text{ лм.}$$

Визначаємо необхідний світловий потік світильників у кожній лінії за формулою, лм:

$$\Phi = F' \cdot L,$$

де  $L$  – довжина світлової лінії,  $L = 6$  м.

$$\Phi = 4190,47 \cdot 6 = 25142,82 \text{ лм.}$$

Так як кількість ламп у світильнику 2 шт, а кількість світильників в одній світловій лінії 6 шт світловий потік однієї лампи повинен складати:

$$\Phi = \frac{25142,82}{6 \cdot 2} = 2095,2 \text{ лм.}$$

Фактичний світловий потік лампи має знаходитись в межах 0,9 до 1,2 від нормативного.

Виконаємо перевірку:

$$1885,7 < 2095,2 < 2514,2.$$

Умова перевірки виконується, отже освітленість задовольняє нормам.

### **Розрахунок навантажень силових електроприймачі**

Визначаємо розрахункову активну та реактивну потужності споживачів об'єкту, а також електричного навантаження освітлення школи.

Розрахунок електричних навантажень споживачів здійснюється в наступній послідовності:

- обчислюємо сумарну потужність  $P_{H\Sigma}$  кВт за виразом:

$$P_{H\Sigma} = P_{Hi} \cdot n = 0,5 \cdot 60 = 30 \text{ кВт.}$$

- обчислюємо проміжну потужність за допомогою коефіцієнта використання  $K_{\epsilon}$  :

$$P_H = P_{H\Sigma} \cdot K_{\epsilon} = 30 \cdot 0,8 = 24 \text{ кВт.}$$

де:  $K_{\epsilon}$  - коефіцієнт використання активної потужності і-го ЕП;

- обчислюємо проміжну реактивну потужність за формулою:

$$Q_H = \sum_{i=1}^n P_H \cdot \operatorname{tg} \varphi_i.$$

$$Q_H = P_H \cdot \operatorname{tg} \varphi = 24 \cdot 0,48 = 11,52 \text{ квар.}$$

- коефіцієнт використання встановленої потужності знаходимо за виразом:

$$K_{\epsilon} = \frac{\sum P_H}{\sum P_{H\Sigma}}.$$

$$K_{\epsilon} = \frac{74,11}{107} = 0,7.$$

- обчислюємо ефективну кількість ЕП за виразом:

$$n_e = \frac{(\sum_{i=1}^n P_{н.і})^2}{\sum_{i=1}^n P_{н.і}^2}.$$

Допускається прийняти  $n_e$  рівним  $n$ , якщо кількість ЕП у групі чотири і більше з виконанням співвідношення:

$$m = \frac{P_{н.і.маx}}{P_{н.і.мін}} \leq 3,$$

де  $P_{н.і.маx}$  і  $P_{н.і.мін}$  – найбільша та найменша номінальна потужність окремого ЕП, кВт.

$$m = \frac{30}{1,2} = 25.$$

$m > 3$ , величина  $n_e$  розраховується за виразом:

$$n_e = \frac{2 \cdot \sum_{i=1}^n P_{н.і}}{P_{н.і.маx}}.$$

$$n_e = \frac{2 \cdot 15,3}{30} = 1,02.$$

– за імовірнісними кривими  $K_p = f(n_e, K_g)$  визначаємо величину розрахункового коефіцієнта активної потужності  $K_p$ ;  $K_p = 1$ .

– розрахункові активну і реактивну потужності силових ЕП визначають за виразами:

$$P_p = K_p \cdot P_n.$$

$$P_p = 1 \cdot 74,11 = 74,11 \text{ кВт.}$$



- $Q_p = 1,1 \cdot Q_n$  – якщо  $n \leq 10$ , і  $Q_p = Q_n$  – якщо  $n > 10$ :

$$Q_p = 1,1 \cdot Q_n = 1,1 \cdot 56,0699 = 61,68 \text{ квар.}$$

- розрахункова силова потужність розраховується за формулою:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}.$$

$$S_p = \sqrt{74,11^2 + 61,68^2} = 96,42 \text{ кВА.}$$

Представимо більш детальний розрахунок споживачів електричної енергії у таблиці 3.5.

### **Розрахунок загального навантаження школи**

Активне навантаження школи визначаємо за виразом:

$$P_p = P_{p.cn} + P_{po}.$$

$$P_p = 74,11 + 11,36 = 85,47 \text{ кВт.}$$

Реактивне навантаження школи визначаємо за виразом:

$$Q_p = Q_{p.cn} + Q_{po}.$$

$$Q_p = 61,68 + 3,63 = 65,31 \text{ квар.}$$

Сумарне навантаження школи визначаємо за виразом:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}.$$

$$S_p = \sqrt{85,47^2 + 65,31^2} = 107,56 \text{ кВА.}$$

Найменування ЕП	п, шт	P <sub>нп</sub> , кВт	P <sub>нΣ</sub> , кВт	P <sub>н.і. max</sub> , кВт	P <sub>н.і. min</sub> , кВт	K <sub>в</sub>	cosφ	tgφ	P <sub>нп</sub> , кВт	Q <sub>н</sub> , квар	п <sub>эф</sub> , шт	K <sub>р</sub>	P <sub>рп</sub> , кВт	Q <sub>рп</sub> , квар	S <sub>рп</sub> , кВА
Комп'ютери	60	0,5	30			0,8	0,9	0,48	24	11,52					
Ноутбук	16	0,5	8			0,6	0,9	0,48	4,8	2,304					
Принетри	16	0,3	4,8			0,75	0,35	2,67	3,6	9,612					
Телевізори	8	0,15	1,2			0,6	0,6	1,33	0,72	0,957					
Кондиціонери	4	2,8	11,2			0,7	0,85	0,62	7,84	4,860					
Інтерактивні дошки	3	0,9	2,7			0,8	0,7	1,02	2,16	2,203 2					
Обігрівачі	12	1,5	18			0,5	0,9	0,48	9	4,32					
Чайники	12	1,6	19,2			0,7	0,7	1,02	13,44	13,70					
Бойлер	4	1,5	6			0,6	0,75	0,88	3,6	3,168					
СП 1	135		101	30	1,2	0,684			69,16	52,44	6,74	1,348	93,23	70,98	117,17
Циркуляційний насос	1	5,5	5,5			0,9	0,82	0,69	4,95	3,415					
СП 2	1		5,5	5,5	5,5	0,9			4,95	3,415	2	1,84	9,108	6,285	11,066
Всього	136	15,3	107	30	1,2	0,695			74,11	56,06	1,017	1	74,11	61,68	96,417

### 3.5 Баланс річного споживання активної та реактивної енергії

#### Проведемо перевірку втрат напруги в різних режимах роботи мережі

Допустима втрата напруги в нормальному режимі становить 5 % (в післяаварійному режимі – 10%).

#### Для нормального режиму

Характеристика кабельної лінії:

Кабель АВВГ 3х185+1х95:  $I_{\text{доп.}} = 313 \text{ А};$

$$r_0 = 0,164 \text{ Ом/км};$$

$$x_0 = 0,0596 \text{ Ом/км}.$$

де:  $r_0$  – активний опір, Ом/км;

$x_0$  – індуктивний опір, Ом/км.

Робимо перевірку:

$$I_{\text{доп.}} \cdot K_1 \cdot K_2 > I_p,$$

де  $K_1$  – поправочний коефіцієнт на струми для кабельних ліній в залежності від температури оточуючого середовища приймаємо рівним 1;

$K_2$  – поправочний коефіцієнт на кількість працюючих кабелів, які прокладено разом у землі, приймаємо рівним 1:

Розрахунковий струм:

$$I_p = \frac{\sqrt{P^2 + Q^2}}{2\sqrt{3} \cdot U_H} = \frac{\sqrt{85,47^2 + 65,31^2}}{2\sqrt{3} \cdot 0,38} = 81,8 \text{ А}.$$

$$313 \cdot 1 \cdot 1 = 313 > 81,8 \text{ А}.$$

$$\Delta U_p = \frac{r_0 \cdot L \cdot P}{10 \cdot U_H^2} = \frac{0,164 \cdot 0,25 \cdot 85,47}{2 \cdot 10 \cdot 0,38^2} = 1,2\%.$$

Виконуємо перевірку:

$$1,2 \leq 5\%.$$

**Для післяаварійного режиму**

Розрахунковий струм

$$I_{\text{рп/а}} = \frac{\sqrt{P^2 + Q^2}}{\sqrt{3} \cdot U_H} = \frac{\sqrt{85,47^2 + 65,31^2}}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 163,6 \text{ А.}$$

Виконуємо перевірку:

$$I_{\text{доп}} \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_{\text{пер}} \geq I_p;$$

де  $K_{\text{пер}}$  – коефіцієнт допустимого перевантаження КЛ у після аварійному режимі, приймаємо рівним 1,3;

$$313 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,3 \geq 163,6;$$

$$406,9 \geq 163,6.$$

Втрати напруги на ділянках від ТП до останнього об'єкту

$$\Delta U^{\text{п/а}} = \frac{r_0 \cdot L \cdot P}{10 \cdot U_H^2} = \frac{0,164 \cdot 0,25 \cdot 85,47}{10 \cdot 0,38^2} = 2,5\%;$$

$$2,5 \leq 10\%.$$

Баланс річного навантаження активної енергії у розрізі СП 1, СП 2 та освітлення наведено на рисунку 3.6.

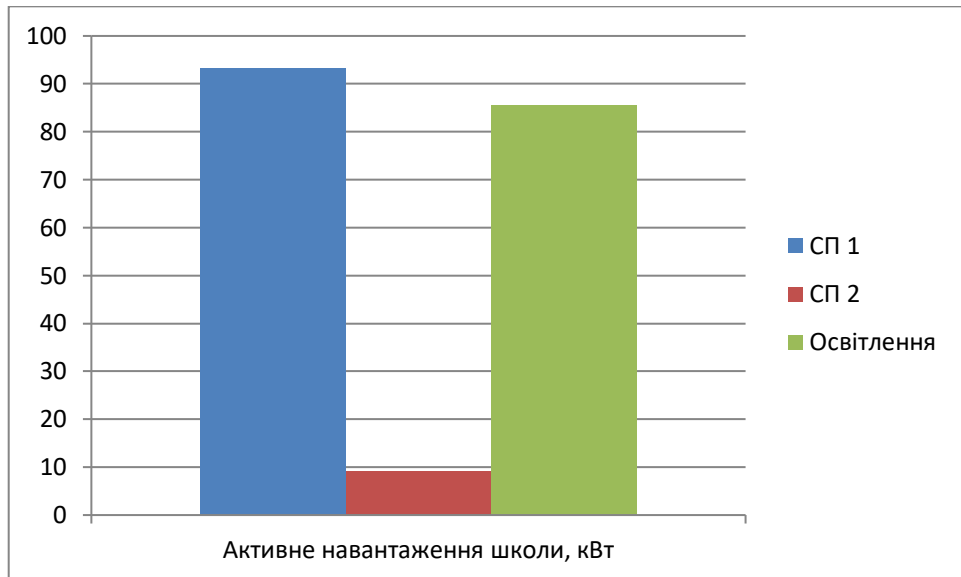


Рисунок 3.6 – Річне навантаження активної енергії

Баланс річного навантаження реактивної енергії у розрізі СП 1, СП 2 та освітлення наведено на рисунку 3.7.



Рисунок 3.7 – Річне навантаження реактивної енергії

### 3.6 Аналіз динаміки тарифів на електроенергію

Школа розраховується за електричну енергію за одно ставковим тарифом з оплатою згідно показів лічильника електричної енергії. При цьому

тарифна ставка на 1 січня 2018 року  $b = 2,15 \frac{\text{грн}}{\text{кВт} \cdot \text{год}}$  [15]. Також для школи

може бути доступний одноставковий тариф, диференційований за часом доби (за умови заміни лічильника), який передбачає зменшувальні коефіцієнти до оплати за електроенергію, спожиту не в години максимуму мережі (нічні години). Цей тариф не вигідний для школи, оскільки учбовий процес проходить в денні години, і немає можливості перенести споживання електричної енергії, прив'язане до нього, на нічні години.

Таким чином, існуючий тариф є найбільш оптимальним.

Динаміка зміни тарифу за 2015-2018 рік наведена на рисунку 3.8.

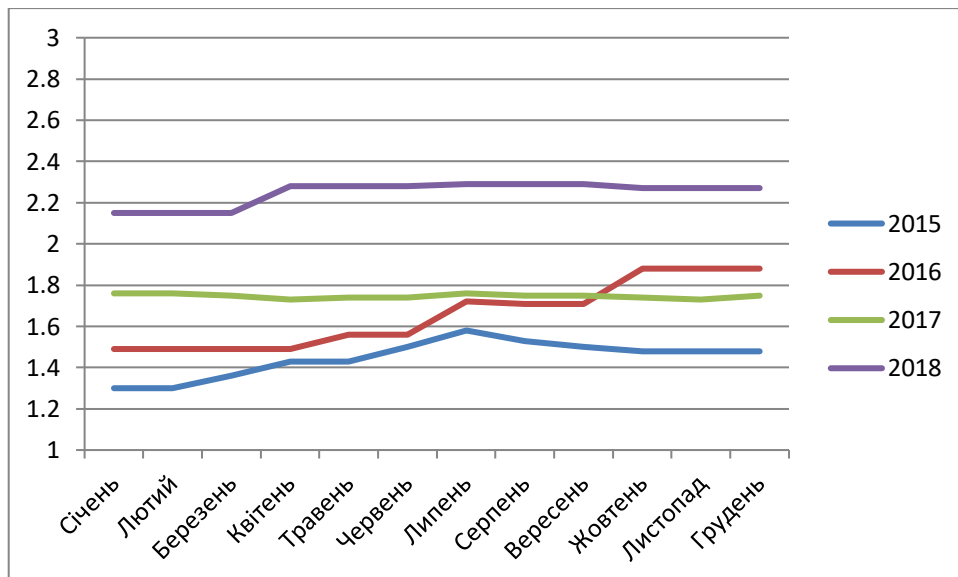


Рисунок 3.8 – динаміка зміни тарифу за 2015-2018 рік

За результатами аналізу динаміки зміни тарифів спостерігається поступове його зростання. Тому для розрахунків економічної оцінки заходів з енергозбереження використовується тарифна ставка по 01.12.2018 року у

розмірі  $b = 2,28 \frac{\text{грн}}{\text{кВт} \cdot \text{год}}$ .

### 3.7 Заходи з енергозбереження

Провівши аналіз системи електропостачання школи було виявлено недоліки у системі кондиціонування, системі освітлення та системі подачі гарячої води. Таким чином можуть бути запропоновані наступні заходи з енергозбереження, а саме:

1. Заміна кондиціонера;
2. Встановлення датчиків присутності;
3. Заміна ламп розжарювання на лампи LED;
4. Відключення бойлера у вихідні та святкові дні, канікули та нічний час.

#### Захід з енергозбереження №1– Заміна кондиціонерів

Провівши аналіз електроспоживання об'єкту, було виявлено 4 кондиціонери, які розташовано у адміністрації школи. Так як обладнання застаріле, воно споживає велику кількість електроенергії. Пропонується замінити їх на нові, енергоефективні кондиціонери з високим класом енергоефективності. Характеристики кондиціонера наведено у таблиці 3.6.

Таблиця 3.6 – Характеристика кондиціонерів

Характеристики	Panasonic CS-XE9SKE	LG P09EP.NSJ/P09EP.UA3
Потужність, кВт	2,8	2,4
ККД	0,8	0,9
EER (коефіцієнт енергетичної ефективності)	2,9	3,4
COP (тепловий коефіцієнт)	3,2	3,8
Клас енергоефективності	C	A

Знайдемо річне споживання електричної енергії до і після впровадження заходу з енергозбереження відповідно за виразом:

$$W = \frac{P \cdot n}{\eta} \cdot T,$$

де  $P$  - потужність кондиціонера, кВт;

$T$  - час роботи;

$\eta$  - ККД кондиціонера;

$n$  – кількість кондиціонерів.

$$W_1 = \frac{2,8 \cdot 4}{0,8} \cdot 1095 = 15330 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

$$W_2 = \frac{2,4 \cdot 4}{0,9} \cdot 1095 = 11679 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

Знайдемо економію електричної енергії протягом року за виразом:

$$\Delta W = 15330 - 11679 = 3651 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

Економія грошових коштів внаслідок запровадження заходу згідно виразу:

$$E = \Delta W \cdot c,$$

де  $c$  – тариф на електроенергію,  $\frac{\text{грн}}{\text{рік}}$ .

Тоді:

$$E = 3651 \cdot 2,28 = 8324 \frac{\text{грн}}{\text{рік}}.$$

Отже, при заміні кондиціонерів економія електричної енергії протягом року складе 3651 кВт·год, або 8324  $\frac{\text{грн}}{\text{рік}}$ .



Вартість кондиціонера LG P09EP.NSJ/P09EP.UA3 становить 12000 грн, монтаж становить 1000 грн. Тобто витрати становлять  $I = 52000$  грн.

Простий термін окупності згідно виразу:

$$T_{ок} = \frac{I}{E}.$$

$$T_{ок} = \frac{52000}{8324} = 6 \text{ років.}$$

Термін експлуатації кондиціонерів до 12 років, а отже даний захід з енергозбереження рекомендований до запровадження.

## **Захід з енергозбереження №2 – Встановлення датчиків присутності**

Так як споживання електроенергії у вечірні години та у зимовий період часу є великим та необхідним, пропонується для зменшення використання електроенергії встановлення датчиків руху. Це дозволить автоматично вимикати освітлення в приміщенні при відсутності людей.

Рекомендується встановити 16 датчиків присутності Crow Swan Quad.

Радіус детектування – 18 м.

Висота установки – 2,4 м.

Кількість поверхів у школі – 4.

Схема розташування датчиків наведена на рисунку 3.9.

Потужність споживання одним датчиком 1 Вт.

Знайдемо річне споживання електричної енергії датчиками присутності:

$$W = P \cdot n \cdot T \cdot N,$$

де  $N$  – час роботи датчика у момент знаходження людини.

Знайдемо час роботи датчика. При цьому задамо, що датчик буде ввімкнений з 17:00 до 7:00.

$$T_{\text{датчика}} = t \cdot n = 15 \cdot 365 = 5475 \text{ год},$$

де  $t$  – кількість годин, коли датчик ввімкнений;

$n$  – кількість днів за один рік.

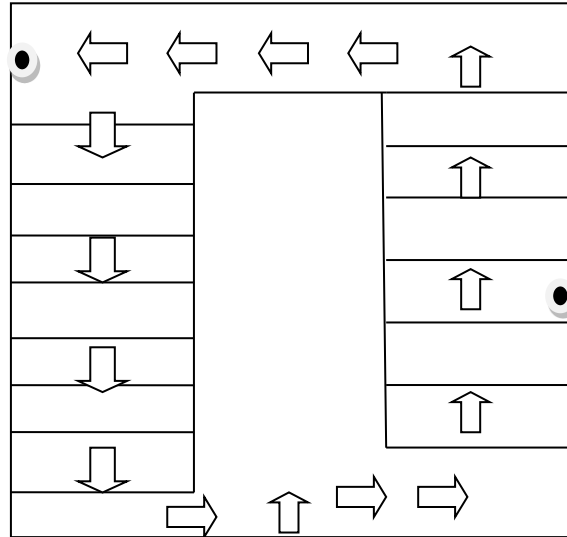


Рисунок 3.9 – Схема розташування датчиків присутності

Отже, отримаємо:

$$W_{\text{датч}} = 0,001 \cdot 16 \cdot 5475 = 87,6 \frac{\text{кВт} \cdot \text{год}}{\text{рік}}.$$

Час роботи лампи, окремо від датчика руху складає:

$$T_{\text{лампи}} = N \cdot t \cdot n = 25 \cdot 4 \cdot 365 = 36500 \text{ хв} = 608 \text{ год},$$

де  $N$  – орієнтовна кількість людей, що знаходяться у період з 17:00 до 7:00 у школі, та користуються сходами;

$t$  – час, за яких людина пересувається сходами;

$n$  – кількість днів за один рік.

Річне споживання електричної енергії лампами розжарювання складає:

$$W_{\text{лампи}} = 0,1 \cdot 37 \cdot 608 = 2249,6 \frac{\text{кВт} \cdot \text{год}}{\text{рік}}.$$

Річне споживання електричної енергії лампами розжарювання та датчиками руху складатиме:

$$W_{з/д} = W_{датч} + W_{лампи} = 87,6 + 2249,6 = 2337,2 \frac{\text{кВт} \cdot \text{год}}{\text{рік}}.$$

Річне споживання електричної енергії лампами розжарювання без датчиків складає:

$$W_{лампи} = 0,1 \cdot 37 \cdot 5475 = 20257,5 \frac{\text{кВт} \cdot \text{год}}{\text{рік}}.$$

Знайдемо економію електричної енергії протягом року за виразом:

$$\Delta W = 20257,5 - 2337,2 = 17920,3 \frac{\text{кВт} \cdot \text{год}}{\text{рік}}.$$

Економія грошових коштів внаслідок запровадження заходу складатиме:

$$E = 17920,3 \cdot 2,28 = 40858 \frac{\text{грн}}{\text{рік}}.$$

Вартість одного датчика 600 грн, монтаж – 300 грн. тобто сумарні витрати становлять  $I = 14400$  грн.

Термін окупності складає:

$$T_{ок} = \frac{14400}{40858} = 0,3 \text{ місяця}.$$

### **Захід з енергозбереження №3 – Заміна ламп розжарювання на лампи LED**

Заходом пропонується модернізація системи внутрішнього освітлення шляхом заміни ламп розжарювання, що встановлені в коридорах та підсобних приміщеннях.

Кількість ламп, що підлягає заміні – 37 шт.

Економічний ефект проекту забезпечується за рахунок зниження витрат на оплату електроенергії, що споживається існуючою системою освітлення.

Характеристики ламп наведено в таблиці 3.7.

Таблиця 3.7 – Характеристики ламп

Тип лампи	Потужність, Вт	Світловий потік, лм	Тип цоколя
ЛР	100	1340	E27
LED лампи	15	1350	E27

Знайдемо річне споживання електричної енергії від світильників до і після впровадження заходу з енергозбереження відповідно за виразом:

$$W = P \cdot T \cdot n,$$

де  $P$  - сумарна потужність світильників, кВт;

$T$  - час роботи;

$n$  - кількість ламп.

#### **Лампи розжарювання:**

$$W_1 = 0,1 \cdot 5475 \cdot 37 = 20257,5 \frac{\text{кВт} \cdot \text{год}}{\text{рік}}.$$

#### **LED лампи:**

$$W_2 = 0,015 \cdot 5475 \cdot 37 = 3038,6 \frac{\text{кВт} \cdot \text{год}}{\text{рік}}.$$

Знайдемо економію електричної енергії протягом року за виразом:

$$\Delta W = W_1 - W_2.$$

$$\Delta W = 20257,5 - 3038,6 = 17218,9 \frac{\text{кВт} \cdot \text{год}}{\text{рік}}.$$

Економія грошових коштів протягом року складатиме:

$$E = 17218,9 \cdot 2,28 = 39259 \frac{\text{грн}}{\text{рік}}.$$

Отже, при заміні ЛР на енергозберігаючі лампи економія електричної енергії протягом року складе 13776 кВт·год, або 31409  $\frac{\text{грн}}{\text{рік}}$ .

Вартість однієї LED лампи – 54 грн.

Витрати на установку монтажні матеріали становлять 250 грн. Тобто, сумарні витрати становлять  $I = 11248$  грн.

Простий термін окупності складатиме:

$$T_{ок} = \frac{11248}{39259} = 0,2 \text{ місяці.}$$

#### **Захід з енергозбереження № 4 – Відключення бойлера у вихідні та святкові дні, канікули та нічний час**

Для отримання гарячої води у школі використовують 4 бойлери, об'єм яких складає – 30 л. Вони працюють цілодобово під час вихідних, канікул та святкових днів, а також у нічний час, що є нераціональним використанням ресурсів.

Пропонується переводити бойлер у святкові дні, канікули та нічний час у «режим половинної потужності», який дозволяє економити електричну енергію та зберігати задану температуру води протягом необхідного періоду.

Знайдемо річну економію електричної енергії за таких умов згідно виразу:

$$\Delta W_d = P \cdot T,$$

де:  $P$  - потужність бойлера, кВт;

$T$  - сумарна тривалість святкових днів, канікул та з урахуванням нічного часу.

$$\Delta W = 1,5 \cdot 5776 \cdot 4 = 34656 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

Річна економію грошових коштів визначається за виразом:

$$E = \Delta W \cdot c.$$

$$E = 34656 \cdot 2,28 = 79015 \frac{\text{грн}}{\text{рік}}.$$

Отже, при відключенні бойлера у святкові та вихідні дні, нічний час та канікули економія електричної енергії протягом року складе 34656 кВт·год, або 79015  $\frac{\text{грн}}{\text{рік}}$  у грошовому еквіваленті.

Для комфортного використання даного заходу з енергозбереження, необхідно додатково встановити автономну систему відключення бойлера. З її допомогою персоналу школи немає необхідності проводити відключення самостійно, а потрібно лише один раз запрограмувати систему на певний час відключення.

Вартість автономної системи фірми ADECS ADC-04-11-60 становить 800 грн. Вартість монтажних робіт – 400 грн.

Капіталовкладення складатимуть – 4800 грн.

Термін окупності складатиме:

$$T_{ок} = \frac{4800}{79015} < 1 \text{ місяця.}$$

Результати заходів з енергозбереження зобразимо у вигляді діаграми на рисунку 3.10.

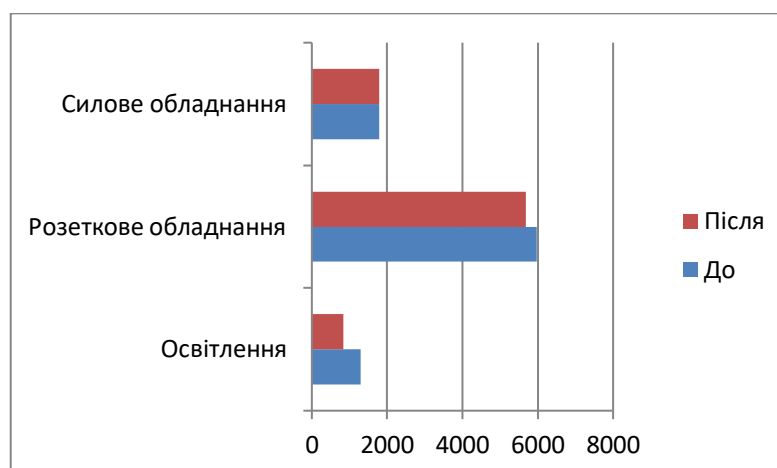


Рисунок 3.10 – Споживання електричної енергії різними споживачами до і після впровадження заходів з енергозбереження у січні 2017 року.

### Висновки до розділу

Після впровадження заходів з енергозбереження ми знизимо споживання електричної енергії та заощадимо – 167456 грн. Загальні капіталовкладення складатимуть – 82448 грн. Річна економія електричної енергії складатиме – 73446 кВт·год. Найбільша економія відбулася в системі освітлення де споживання скоротилося на 439,56 кВт·год.

Зведемо усі запропоновані заходи з енергозбереження у таблицю 3.8.

Таблиця 3.8 – Заходи з енергозбереження

№	Назва	Річна економія електричної енергії $\Delta W$ , кВт·год	Річна економія грошових коштів $E$ , $\frac{\text{грн}}{\text{рік}}$	Грошові витрати на впровадження ЗЕЗ $I$ , грн	Простий термін окупності $T_{ок}$ , років
1	Заміна кондиціонера	3651	8324	52000	6
2	Встановлення датчиків присутності	17920,3	40858	14400	0,3
3	Заміна ламп розжарювання на LED лампи	17218,9	39259	11248	0,2
4	Відключення бойлера у вихідні та святкові дні, канікули	34656	79015	4800	< 1 місяця

## **4 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА. ВИКОРИСТАННЯ ТЕПЛОВОГО НАСОСУ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ РІВНЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ СПЕЦІАЛІЗОВАНОЇ ШКОЛИ І СТУПЕНЯ № 324**

### **4.1 Літературний огляд, постановка задачі**

У зв'язку з високими тарифами на теплову енергію, все більш актуальною стає тема енергозбереження. Особливо це стосується великих організацій та бюджетних установ, де споживання даних енергоресурсів є суттєвим. У ХХІ сторіччі стрімко розвивається використання поновлюваних джерел енергії, а саме енергія вітру, води, геотермальна енергія та енергія Сонця. Так, наприклад, у м. Києві було відкрито першу в Україні енергоефективну та «розумну» школу [1]. Обігрів об'єкту відбувається за рахунок встановлених геотермальних теплових насосів, які, використовуючи енергію Землі, здатні повністю забезпечити школу теплотою та зробити її автономною, тобто незалежною від централізованих систем опалення. Метою та завданням даного розділу є аналіз ефективності використання теплового насосу на прикладі спеціалізованої школи І ступеня № 324, м. Києва.

Для встановлення теплового насосу необхідно, щоб будівля мала клас енергоефективності не менше В. Отже, розрахуємо до якого класу енергоефективності відноситься школа.

### **4.2 Теоретичні відомості щодо методики визначення характеристик, моделей та обґрунтування проекту**

Існує три основні типи теплових насосів: повітря-вода, вода-вода, ґрунт-вода. Для вибору найбільш оптимального теплового насосу проведемо порівняння між повітря – вода та ґрунт-вода.

Характеристики насосів даного типу наведено у таблиці 4.1.



Таблиця 4.1 – Порівняльна характеристика теплових насосів

Тепловий насос ґрунт-вода	Тепловий насос повітря-вода
Застосування	
Можуть застосовуватись у будь-якому регіоні України, навіть у найбільш холодному. Температура ґрунту є постійною, не змінюється протягом року.	Найбільш застосовується для установки в регіонах, де середня температура за опалювальний період відносно висока.
Джерело теплоти	
Теплота, накопичена в при поверхневому шарі землі. Незмінна температура протягом року.	Температура повітря, змінна протягом року.
Необхідні умови для установки	
Необхідна наявність вільної ділянки, без забудови, для прокладання горизонтального колектора або місця для декількох ґрунтових зондів, геодезія ділянки.	Проста установка зовнішнього блоку на стіні або біля стіни. Внутрішній блок - в підсобному приміщенні, в котельні або в кухні.
Коефіцієнт перетворення енергії (COP), ефективність роботи	
Стабільний високий COP - до 5,0. Незмінна протягом всього року ефективність.	Змінюється від максимально високого до низького, COP залежить від зовнішніх температур, досягає 5,0.
Експлуатаційні витрати	
Витрати на експлуатацію та обслуговування мінімальні. Досить великий термін використання та надійності.	Низькі експлуатаційні ціни та тривалий термін служби. Прості в обслуговуванні.

У таблиці 4.2 наведено тепловтрати та теплонадходження після запровадження заходів з енергозбереження.

Таблиця 4.2 – Тепловтрати та теплонадходження школи після запровадження заходів з енергозбереження

Назва	Позначення	Значення в кВт	Значення в Гкал/год
1	2	3	4
Стіни школи	-	33,71	0,028
Вікна школи	-	41,1	0,035
Двері школи	-	2,7	0,002
Дах школи	-	11,8	0,01

Продовження таблиці 4.2

1	2	3	4
Підлога школи	-	20	0,017
Загальні втрати крізь огорожувальні конструкції	$Q_{огор}$	109,31	0,093
Втрати на інфільтрацію повітря	$Q_{інф}$	70,71	0,06
Втрати теплоти у трубопроводах системи опалення	$Q_2$	8,95	0,0077
Втрати обумовлені орієнтацією будинку	$Q_{ст}$	6,8	0,0058
Надходження теплоти від людей	$Q_3$	18,78	0,016
Надходження теплоти від електрообігрівачів	$Q_4$	2,2	0,018
Надходження теплоти від освітлювальних приладів	$Q_{сон}$	2,69	0,0023
Надходження теплоти від Сонячної радіації	$Q_{сон}$	10,83	0,0093

Отже, сумарне теплове навантаження школи буде:

$$Q_{сум} = (0,093 + 0,06) \cdot 1,13 \cdot 1,01 + 0,0077 + 0,0058 - 0,016 - 0,0018 - 0,0023 - 0,0093 = 0,15 \frac{\Gamma_{кал}}{год} = 174,45 \text{ кВт}.$$

Витрату теплоти на опалення за опалювальний період визначимо з рівняння:

$$Q_O^{PIK} = Q_O^{max} \cdot \frac{t_B - t_{CP.O.}}{t_B - t_{P.O.}} \cdot n_O \cdot 24 = 0,15 \cdot \frac{21 - (-0,1)}{21 - (-22)} \cdot 176 \cdot 24 = 310,9 \frac{\Gamma_{кал}}{рік} = 361511,6 \frac{\text{кВт} \cdot \text{год}}{\text{рік}}.$$

Так як школа має достатньо складну форму будови та велику ділянку біля будівлі, розрахуємо два теплових насоси « ґрунт – вода» фірми VDE ТН-70 потужністю 70,8 кВт (76 % від розрахункової потужності системи теплопостачання  $Q_{сум}=174,45$  кВт) [16].

Характеристика теплового насосу VDE ТН-50 наведена у таблиці 4.3

Таблиця 4.3 – Характеристика теплового насосу VDE TH-70

Тепловий насос VDE TH-70	
Висота/довжина/ширина	1550/2550/1200 мм
COP – коефіцієнт перетворення енергії	4,37
Споживана потужність компресора	16,2 кВт
Кількість компресорів	3
Теплопродуктивність	70,8 кВт

Кількість використаної електроенергії на привод ТН знаходиться за формулою:

$$W = N \cdot n \cdot n_0 \cdot 24 = 16,2 \cdot 2 \cdot 176 \cdot 24 = 136857,6 \frac{\text{кВт} \cdot \text{год}}{\text{рік}},$$

де  $N=16,2$  кВт– потужність компресора, кВт;

$n=2$  – кількість теплових насосів, шт.;

$n_0=176$  – кількість опалювальних діб.

При дуже низьких температурах повітря рекомендується підключення додаткового джерела теплоти (котел, електронагрівач тощо). Як приклад використаємо додаткове джерело теплоти у вигляді електричного котла фірми Dakon DALINE PTE 36 потужністю 36 кВт [17].

Додаткове джерело теплоти за опалювальний період покриває від 5 до 10% необхідної теплоти на опалення, приймаємо 7%.

$$Q_{\text{д.д.}} = 0,07 \cdot Q = 0,07 \cdot 361511,6 = 25305,8 \frac{\text{кВт} \cdot \text{год}}{\text{рік}}.$$

Економія за рахунок використання ТН та додаткового джерела теплоти після утеплення будівлі:

$$E = Q - W - Q_{\text{д.д.}} = 361511,6 - 136857,6 - 25305,8 = 199348,2 \frac{\text{кВт} \cdot \text{год}}{\text{рік}},$$

де  $Q$ – теплове навантаження школи за опалювальний період, (кВт·год)/рік.

Для знаходження коефіцієнта річної ефективності  $\beta$ , який є відношенням кількості теплоти, яку віддає ТН протягом року, до кількості електроенергії використаної на привод ТН за цей же період. використовується формула:

$$\beta = \frac{Q - Q_{д.д.}}{W} = \frac{361511,6 - 25305,8}{136857,6} = 2,45.$$

Дійсна економія без врахування витрат на отримання теплоти з додаткового джерела теплоти у зв'язку з недотопом школи:

$$E = Q_{л} - W - Q_{д.д.} = 744558,139 - 136857,6 - 25305,8 = 582394,7 \frac{\text{кВт} \cdot \text{год}}{\text{рік}} = 500,8 \frac{\text{Гкал}}{\text{рік}},$$

де  $Q_{л} = 744558,139$  (кВт·год)/рік – теплове навантаження школи за лічильником.

Дійсна економія в грошовому еквіваленті:

$$C_{TH} = E \cdot Ц = 500,8 \cdot 1866,5 = 934743 \frac{\text{грн}}{\text{рік}},$$

де  $Ц = 1866,5$  грн./Гкал – дійсний тариф на теплопостачання для бюджетних організацій.

Для встановлення теплового насосу типу «грунт-вода» проведемо розрахунок горизонтального колектора. Потужність контурів ґрунтового теплообмінника теплового насоса обчислюється щодо потужності і COP обраного теплового насоса за формулою:

$$P_e = P_n \cdot n \cdot \left(1 - \frac{1}{COP}\right) = 70,8 \cdot 2 \cdot \left(1 - \frac{1}{4,37}\right) = 109,3 \text{ кВт}.$$

де  $P_n$  – потужність теплового насосу, кВт;

$n$  – кількість теплових насосів.

Необхідна довжина горизонтального теплообмінника двох теплових насосів, дорівнює відношенню необхідної потужності до потужності одного метра труби:

$$L = \frac{P_e}{q}, \text{ м},$$

де  $q = 20 \text{ Вт / м}$  (середнє значення теплотістоти для горизонтальних колекторів) [19].

$$L = \frac{109,3}{0,02} = 5465 \text{ м.}$$

Для нашого теплового насоса буде оптимально 28 ґрунтових контури по 200 м кожен. Визначимо площу, яку займатиме такий колектор:

$$S = L \cdot k = 5465 \cdot 0,7 = 3825 \text{ м}^2 ,$$

де  $k$  – крок прокладки ґрунтових контурів.

Згідно проведених розрахунків та отриманої площі можемо зробити висновок, що встановлення теплового насосу з горизонтальним колектором потребує великої ділянки біля об'єкту. Поруч зі школою є вільне місце площею  $4800 \text{ м}^2$  , тобто на даному об'єкті можливе використання теплового насосу з горизонтальним колектором.

Капіталовкладення на встановлення теплового насосу з горизонтальним колектором складатимуть:

$$K_{\text{заг}} = K_{\text{ТН}} + K_{\text{мон}} = 583463 \cdot 2 + 832060 = 1998986 \text{ грн} ,$$

де  $K_{\text{ТН}}$  – вартість двох теплових насосів типу VDE TH-70 ;

$K_{\text{мон}}$  – вартість монтажних робіт, грн.

Термін окупності з урахуванням утеплення школи складатиме:

$$K = K_{\text{заг}} + K_{\text{стіни}} + K_{\text{даху}} + K_{\text{вікон}} = 1998986 + 2563321 + 1992529 + 457750 = 7012586 \text{ грн};$$

$$C = C_{\text{ТН}} = 934743 \frac{\text{грн}}{\text{рік}} ,$$

де  $K_{\text{заг}}$  – капіталовкладення на встановлення ТН;

$K_{\text{стіни}}$  – капіталовкладення на утеплення стіни;

$K_{\text{даху}}$  – капіталовкладення на утеплення даху;

$K_{\text{вікон}}$  – капіталовкладення на заміну вікон;

$C_{TH}$  – дійсна економія в грошовому еквіваленті після встановлення ТН.

Загальний термін окупності складатиме:

$$T = \frac{K}{C} = \frac{7012586}{934743} = 7,5 \text{ років.}$$

Існує можливість встановлення вертикальних ґрунтових теплообмінників, які називаються - «Зонд». Розрахунок проводиться аналогічно горизонтальному колектору, при цьому при визначенні необхідної довжини вертикальних ґрунтових теплообмінників колектора використовується значення  $q$  в залежності від вологості породи і наявності ґрунтових вод. В середньому обирається  $q = 50 \text{ Вт/м}$  [19].

$$L = \frac{109,3}{0,05} = 2186 \text{ м.}$$

Тобто необхідно пробурити 22 свердловин глибиною в 100 м. Відстань між свердловинами повинна складати 5 м.

$$S = L \cdot k = 22 \cdot 25 = 550 \text{ м}^2.$$

Капіталовкладення на встановлення теплового насосу з вертикальним колектором складатимуть:

$$K_{\text{заг}} = K_{TH} + K_{\text{бур}} + K_{\text{мон}} = 583463 \cdot 2 + 1573920 + 30000 = 2770846 \text{ грн},$$

де  $K_{TH}$  – вартість двох теплових насосів типу VDE TH-70;

$K_{\text{бур}}$  – вартість проведення робіт зі свердловинами ( 1200 грн/ 1 м);

$K_{\text{мон}}$  – вартість монтажних робіт, грн.

Термін окупності з урахуванням утеплення школи складатиме:

$$K = K_{\text{заг}} + K_{\text{стіни}} + K_{\text{даху}} + K_{\text{вікон}} = 2770846 + 2563321 + 1992529 + 457750 = 7784446 \text{ грн};$$

$$C = C_{TH} = 934743 \frac{\text{грн}}{\text{рік}}.$$

Загальний термін окупності складатиме:

$$T = \frac{K}{C} = \frac{7784446}{934743} = 8,5 \text{ років.}$$

Для порівняння оберемо п'ять теплових насосів типу «повітря-вода» фірми EVIPOWER CH-HP31UMNM потужністю на опалення 31,1 кВт [18] та розрахуємо його. Характеристики наведено у таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 – Характеристика теплового насосу EVIPOWER CH-HP31UMNM

Тепловий насос EVIPOWER CH-HP31UMNM	
Висота/довжина/ширина	1556х605х1850 мм
COP – коефіцієнт перетворення енергії	4,2
Споживана потужність компресора	7,4 кВт
Охолодження	18 кВт
Теплопродуктивність	31,1 кВт
Температурний діапазон роботи	Від -30 °С до +45 °С

Кількість використаної електроенергії на привод ТН знаходиться за формулою:

$$W = N \cdot n \cdot n_0 \cdot 24 = 7,4 \cdot 5 \cdot 176 \cdot 24 = 156288 \frac{\text{кВт} \cdot \text{год}}{\text{рік}}.$$

Економія за рахунок використання ТН та додаткового джерела теплоти:

$$E = Q - W - Q_{\text{д.д.}} = 361511,6 - 156288 - 25305,8 = 179917,8 \frac{\text{кВт} \cdot \text{год}}{\text{рік}}.$$

Для знаходження коефіцієнта річної ефективності  $\beta$  використовується формула:

$$\beta = \frac{Q - Q_{\text{д.д.}}}{W} = \frac{361511,6 - 25305,8}{156288} = 2,15.$$

Дійсна економія без врахування витрат на додаткове джерело теплоти:

$$E = Q_{\text{л}} - W - Q_{\text{Д.Д.}} = 744558,139 - 156288 - 25305,8 = 562964,2 \frac{\text{кВт} \cdot \text{год}}{\text{рік}} = 484 \frac{\text{Гкал}}{\text{рік}}.$$

Дійсна економія в грошовому еквіваленті:

$$C = E \cdot C = 484 \cdot 1866,5 = 903386 \frac{\text{грн}}{\text{рік}}.$$

Капіталовкладення на встановлення ТН даного типу складатимуть:

$$K_{\text{заг}} = K_{\text{ТН}} + K_{\text{вн.блок}} + K_{\text{монт.р}} = 233920 \cdot 5 + 2400 \cdot 5 + 75000 = 1256600 \text{ грн},$$

де  $K_{\text{ТН}}$  – вартість трьох теплових насосів типу EVIPOWER CH-HP31UMNM;

$K_{\text{вн.блок}}$  – вартість робіт з встановлення базового дисплея;

$K_{\text{дод.дж}}$  – вартість робіт з встановлення додаткового джерела теплоти, грн;

$K_{\text{монт.р.}}$  – вартість монтажних робіт, грн.

Термін окупності з урахуванням утеплення школи складатиме:

$$K = K_{\text{заг}} + K_{\text{стіни}} + K_{\text{даху}} + K_{\text{вікон}} + K_{\text{рефлек}} = 1256600 + 2563321 + 1992529 + 457750 = 6270200 \text{ грн};$$

$$C = C_{\text{ТН}} = 903386 \frac{\text{грн}}{\text{рік}}.$$

Загальний термін окупності складатиме:

$$T = \frac{K}{C} = \frac{6270200}{903386} = 7 \text{ років}.$$

Для підвищення рівня енергоефективності школи рекомендується встановлення теплового насосу типу « повітря-вода» , що дозволить зменшити грошові витрати на опалення будівлі. Зовнішній блок тепло насосної установки не займає багато місця та може бути розміщений у дворі школи.



### 4.3 Аналіз використання ТН за допомогою програмного забезпечення RETScreen

Для розрахунків економічної доцільності використання ТН для теплопостачання школи з великим тепловим навантаженням було використане програмне забезпечення RETScreen. В програмі розглядалося 2 варіанти системи з використанням ґрунтових теплових насосів фірми SATAG та повітряних теплових насосів фірми Trane. Також розглядається додаткове джерело живлення, а саме електричний котел фірми Perge потужністю 20 кВт у кількості 2шт. Об'єктом теплопостачання була спеціалізована школа № 324, яка розташована в м. Києві з сумарним тепловим навантаженням  $Q_{\text{сум}} = 174,45$  кВт.

Після внесення даних отримуємо графік потреби в енергії для опалення, який зображено на рисунку 4.1.



Рисунок 4.1 – Графік характеристик навантаження запропонованої системи

Обираємо за піковим значенням потреб в енергії для опалення тепловий насос натиснувши «Дивитися базу даних обладнання» та внесли вартість даного типу теплового насосу.

Для першого варіанту розрахунку обрали тепловий насос SATAG, потужністю 73 кВт, в кількості 2 штуки. Потужність теплового насосу не

обов'язково повинна покривати пікові потреби в енергії. З економічної точки зору вона повинна складати 75% від пікового значення.

Оскільки пікова потреба в тепловій енергії не покривається виключно тепловим насосом, то обрали ще одне джерело енергії, електричний котел фірми Perge, у кількості 2 штуки, та задаємо ККД котла 90%. Потужність котла обрали з тим розрахунком, щоб разом з тепловим насосом він покривав потребу у тепловій енергії.

На діаграмі зображений розподіл між тепловим насосом SATAG та піковим джерелом за потужністю та виробленою енергією для опалення.

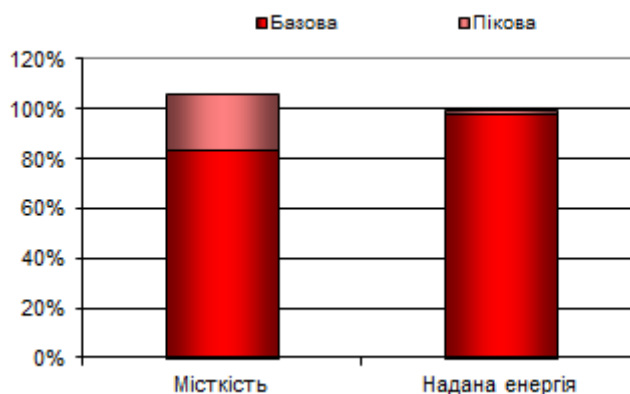


Рисунок 4.2 – Графік розподілу енергії ТН SATAG та електричного котла фірми Perge

Після цього внесемо дані щодо фінансових аспектів проекту (інфляція – 13 %, строк реалізації проекту – 20 років), витрати на переобладнання системи опалення (заміна радіаторів для низькотемпературної системи, встановлення автоматики, що регулює роботу теплового насосу та електричного котла), щорічні експлуатаційні витрати (технічне обслуговування, заміна деталей), отримали результати впровадження проекту.

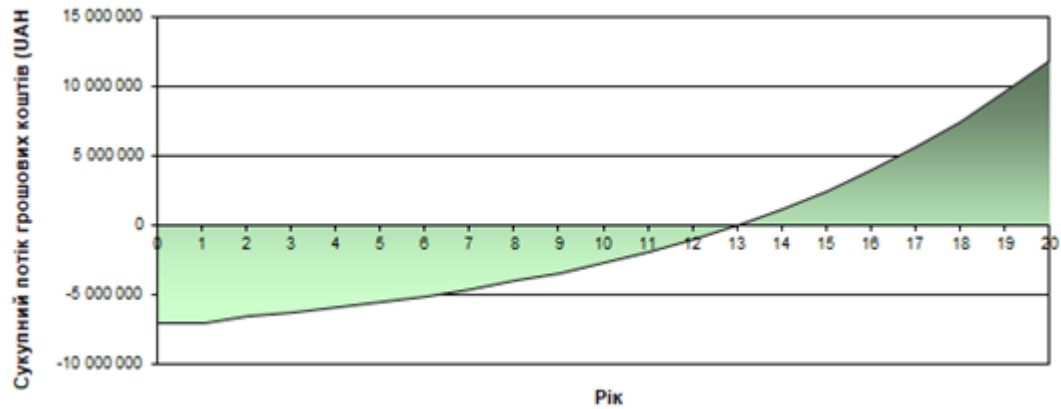


Рисунок 4.3 – Графік сукупного потоку грошових коштів для теплового насосу «грунт-вода»

Отже термін окупності проекту з використанням теплового насосу фірми SATAG та додаткового джерела, електричного котла фірми Perge, складає 13 років.

Проведемо ті ж самі розрахунки для другого варіанту з тепловим насосом «повітря-вода» фірми Trane, потужністю 36 кВт, в кількості 4 шт. Та отримаємо результати, зображені на рисунках 4.4. та 4.5.

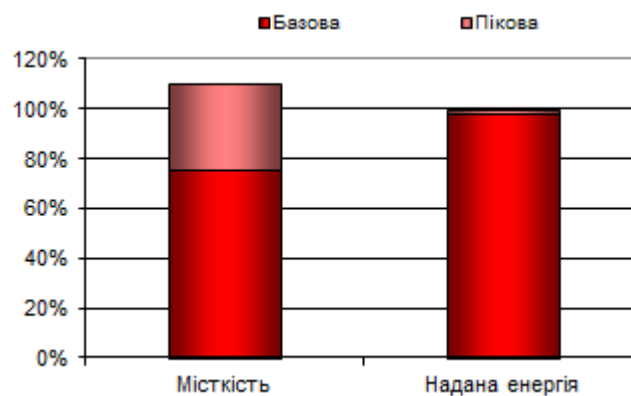


Рисунок 4.4 – Графік розподілу енергії ТН Trane та електричного котла фірми Perge

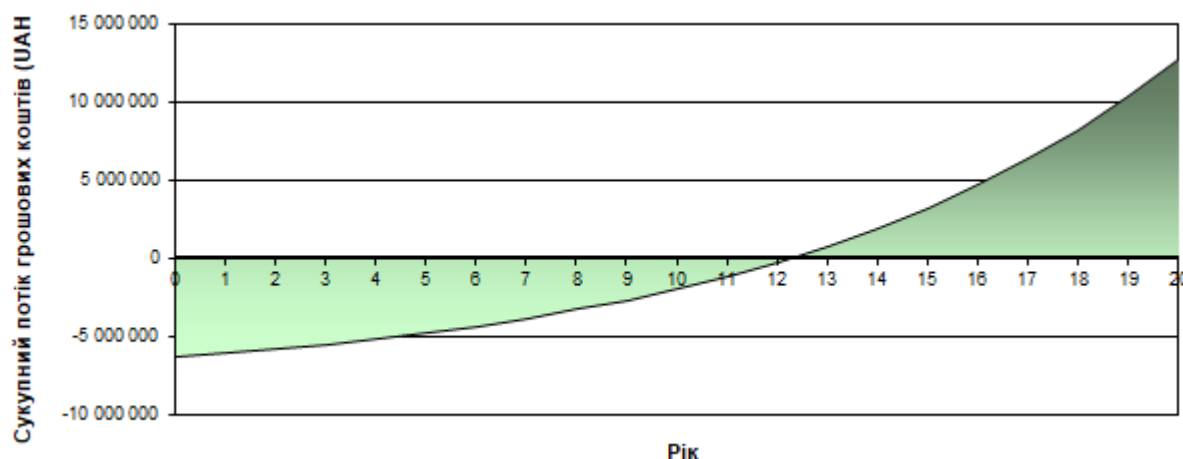


Рисунок 4.5 – Графік сукупного потоку грошових коштів для теплового насосу «повітря-вода»

Отже термін окупності проекту з використанням теплового насосу фірми Trane та додаткового джерела, електричного котла фірми Perge, складає 12,5 років.

Отримані розрахунки у програмному середовищі RETScreen показали, що тепловий насос типу «повітря-вода» має менший термін окупності, ніж «грунт-вода».

## Висновки до розділу

1. Проведено літературний огляд різних типів теплових насосів та наведена їх характеристика.
2. Для покриття теплового навантаження школи розглянуто два варіанти використання теплових насосів, а саме: «грунт-вода» та «повітря-вода».
3. Було обрано два теплові насоси «грунт-вода» фірми VDE TH потужністю  $N=70,8$  кВт. Для покриття пікового навантаження підключено один електричний котел фірми Dakon DALINE потужністю 36 кВт.

4. Для даного теплового насосу розглянуто використання горизонтального та вертикального колекторів.
- Горизонтальний колектор:
    - потребує ділянку площею  $S = 3825 \text{ м}^2$ ,
    - капіталовкладення становлять 1 млн грн.;
    - термін окупності – 7,5 років.
  - Вертикальний колектор:
    - вимагає буріння 22 свердловин;
    - займає площу  $S = 550 \text{ м}^2$ ;
    - капіталовкладення  $K = 2$  млн грн.;
    - термін окупності складає 8,5 років.
5. Розглянуто використання теплового насосу «повітря-вода» фірми EVIPOWER CH-NP31UMNM потужністю  $N = 31,1 \text{ кВт}$ . Обрано п'ять теплових насосів даного типу, які можна встановити у дворі школи. Капіталовкладення  $K = 1$  млн грн., термін окупності – 7 років.
6. Проведено аналіз використання двох видів теплових насосів в програмному середовищі RETScreen. За першим варіантом було обрано два теплових насоси фірми SATAG потужністю  $N = 73 \text{ кВт}$  та додаткове джерело – два електричні котли фірми Perge потужністю  $N = 20 \text{ кВт}$ . Термін окупності склав 13 років.
- За другим варіантом обрано тепловий насос «повітря-вода» фірми Trane у кількості 4 шт., потужністю  $N = 36 \text{ кВт}$ . Додаткове джерело енергії не змінювалось. Термін окупності склав – 12,5 років.

## **РОЗДІЛ 5 ЕНЕРГОМЕНЕДЖМЕНТ ТА МОНІТОРИНГ**

### **5.1 Поточний стан**

На даний момент в школі немає системи енергоменеджменту, тобто підрозділу, який би відстежував рівень енергозбереження в школі та покращував ефективність енерговикористання.

### **5.2 Опис заходу**

Енергетичний менеджмент являє собою систему, основною метою якої є систематичне підтримання ефективності енерговикористання будь-якого об'єкту на заданому рівні і періодичне зростання цієї ефективності.

Для того, щоб досягти цієї мети в системі енергоменеджменту повинні вирішуватись наступні задачі:

- 1) оцінка фактичного стану справ в області енергозбереження;
- 2) визначення можливих шляхів для зростання енергоефективності;
- 3) формування перспективних планів енергозбереження;
- 4) управління реалізацією проектів з енергозбереження;
- 5) систематичний контроль (моніторинг) досягненого рівня енергоефективності.

Для впровадження енергетичного менеджмента на об'єкті призначається посада енергетичного менеджера.

### **5.3 Річна економія енергії при впровадженні заходів**

Розрахуємо річну економію енергії від впровадження системи енергоменеджменту в школі.

За даними 2017 року школа споживає 83894 кВт·год електроенергії та 640,32 Гкал теплоти на опалення. Світовий досвід та практика підтверджують,

що при впровадженні енергетичного менеджменту гарантується зниження споживання енергоносіїв на 5%. Економія енергоносіїв становитиме:

$$\text{- електроенергія: } W_{\text{еe}} = 83894 \cdot 0,05 = 4194,7 \frac{\text{кВт} \cdot \text{год}}{\text{рік}}.$$

$$\text{- теплоенергія: } W_{\text{те}} = 640,32 \cdot 0,05 = 32,016 \text{ Гкал}.$$

#### 5.4 Річна економія ресурсів при впровадженні заходу

Визначимо скільки при цьому становитиме економія фінансових ресурсів: при ціні 2,28 грн за 1 кВт·год енергії економія витрат становитиме:

$$E_{\text{еe}} = 4194,7 \cdot 2,28 = 9563,9 \frac{\text{грн}}{\text{рік}};$$

– при ціні 1866,5 грн за 1 Гкал теплової енергії отримаємо економію:

$$E_{\text{те}} = 32,016 \cdot 1866,5 = 59757,86 \frac{\text{грн}}{\text{рік}}.$$

#### 5.5 Визначення витрат на введення даного проекту

Передбачаємо призначення в школі посади енергоменеджера з місячною заробітною платою 6000 грн, який працюватиме по сумісництву. До обов'язків цієї особи належить: складання обліку потоків енергії в установі, балансу енергоспоживання, розробка пропозицій з енергоефективності, допомога в організації закупівель енергетично ефективного обладнання.

## 5.6 Економічна оцінка проекту

Простий термін окупності становитиме:

$$T = \frac{K}{E},$$

де  $K$  - капітальні затрати на впровадження заходу;

$E$  - економія витрат на оплату електричної та теплової енергії.

$$\frac{K}{E} = \frac{6000 \cdot 12}{69321,764} = 1 \text{ рік.}$$

### Висновки до розділу

Запровадження системи енергоменеджменту дозволить підтримувати рівень енергоефективності школи та покращувати ефективність енерговикористання. Оскільки термін окупності становить рік, то захід має бути прийнятним для впровадження. До обов'язків енергетичного менеджера входить:

- 1) збір даних по споживанню ПЕР з використанням лічильників та контрольно-вимірювальної апаратури;
- 2) складання паливно-енергетичного балансу;
- 3) проведення аналізу споживання енергії з урахуванням оцінки заходів для економії енергоспоживання;
- 4) визначення ефективності роботи споживачів енергії;
- 5) проведення внутрішнього енергетичного аудиту;
- 6) надавання консультації з питань нового обладнання і тарифної політики;
- 7) проведення розрахунків капіталовкладень і експлуатаційних витрат.



## РОЗДІЛ 6 СТАРТАП-ПРОЕКТ. ВИКОРИСТАННЯ ТЕПЛОВОГУ НАСОСУ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ РІВНЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ШКОЛИ

### 1 Опис ідеї проекту

1.1. У даному підпункті аналізуються наступні фактори:

- зміст ідеї (що пропонується);
- можливі напрямки застосування;
- основні вигоди, що може отримати користувач товару (за кожним напрямком застосування);
- чим відрізняється від існуючих аналогів та замінників;

Таблиця 6.1 – Опис ідеї стартап-проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Встановлення теплового насосу для підвищення рівня енергоефективності школи	1. Школи	1. Зменшення рівня сплати за послуги теплопостачання
	2. Дитячі заклади	2. Зменшення рівня викидів в атмосферу
	3. Інші навчальні заклади	3. Відмова від традиційних теплоносіїв

1.2 У таблиці 1.2 наведено SWOT-аналіз встановлення теплового насосу.

Таблиця 6.2 - SWOT – аналіз теплового насосу

Сильні сторони	Слабкі сторони
1. Простота встановлення теплового насосу типу «повітря-вода»; 2. Зменшення грошових витрат на сплату за теплопостачання; 3. Зменшення шкідливих викидів в атмосферу; 4. Підтримка заданого температурного режиму.	1. Додаткова витрата коштів на обладнання; 2. Дороговартісний монтаж установки; 3. Ускладнення схеми електропостачання; 4. Необхідність ремонту обладнання.
Можливості	Загрози
1. Можливість використання відновлюваних джерел енергії; 2. Можливість відмови від традиційних джерел енергії; 3. Можливість управління через мережу Інтернет.	1. Нестабільність роботи обладнання; 2. Можливі загрози під час буріння свердловин для колектора.

Отже, як бачимо встановлення теплового насосу у школі має досить багато сильних сторін та нових можливостей. При цьому у даної ідеї є свої загрози та слабкі сторони, які можуть вплинути на рішення щодо введення даного обладнання в експлуатацію.

## 2 Технологічний аудит ідеї проекту

В межах даного підрозділу проводиться аналіз можливостей, за допомогою яких можна реалізувати ідею проекту. Для цього необхідно відповісти на три основні запитання:

- за якою технологією буде виготовлено товар згідно ідеї проекту?
- чи існують такі технології, чи їх потрібно розробити/додати?
- чи доступні такі технології авторам проекту?

У таблиці 6.3 наведено відповіді на задані запитання та проведено аналіз можливостей реалізації ідеї.

Таблиця 6.3 – Технологічна здійсненність ідеї проекту

Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
Встановлення теплового насосу для підвищення рівня енергоефективності школи	Для встановлення теплового насосу необхідно надати техніко-економічні розрахунки та проектну документацію.	Тепловий насос як технологія вже існує. Проте його встановлення у школі на даний час не є досить актуальним питанням.	Тепловий насос знаходиться у вільному доступі. Багато підприємств та компаній пропонують свої послуги щодо встановлення альтернативних джерел енергії.

Як бачимо ідея щодо встановлення теплового насосу у школі відносно проста в реалізації, так як на ринку існує багато підприємств, що пропонують свої послуги із запровадження альтернативних джерел енергії.

### 3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

У даному підрозділі відбувається визначення можливостей, які можна застосувати під час впровадження проекту, та загрози, які можуть перешкодити реалізації проекту. Це дає змогу спланувати напрями розвитку проекту із урахуванням стану ринкового середовища.

Спочатку проводиться аналіз попиту: наявність попиту, обсяг, динаміка розвитку ринку наведено у таблиці 6.4.

Таблиця 6.4 – Попередня характеристика потенційного ринку

№	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	2 школи м. Києва оснащені тепловим насосом. Всього шкіл без теплового насосу – 620.
2	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає
3	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Обмеження для входу на ринок відсутні.

Надалі визначаються потенційні групи клієнтів, їх характеристики, та формується орієнтовний перелік вимог до товару для кожної групи. Результати наведено у таблиці 6.5.

Таблиця 6.5 – Характеристика потенційних клієнтів проекту

Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
Тепловий насос задовольняє потребу у гарячому водопостачанні та опаленні.	Тепловий насос може бути встановлений у школах, дитячих садочках, інших навчальних закладах та організаціях, приватних будинках.	У школах тепловий насос використовується переважно для опалення. У дитячих садочках це переважно опалення з теплою підлогою. У приватних будинках тепловий насос може використовуватися для ГВП та опалення.	Товар має відповідати технічним умовам наданим споживачем та якістю виготовленої продукції.

Після визначення потенційних груп клієнтів проводиться аналіз ринкового середовища: складаються таблиці факторів, що сприяють ринковому впровадженню проекту, та факторів, що йому перешкоджають. Фактори наведено у таблиці 6.6 та 6.7.

Таблиця 6.5 – Фактори загроз

Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
Зміна ціни на сировину	За наявності нестабільного фінансового стану у країні, можливе збільшення ціни на обладнання для ТН та енергоносії.	Внаслідок цього збільшення ціни на сам товар, відповідно зменшення попиту на його використання.

Таблиця 6.6 – Фактори можливостей

Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
Зміна умов замовника	Можливість зміни умов замовника на товар	Повторне погодження із замовником. Виготовлення товару за новими технічними параметрами та за новою ціною.

Проведемо аналіз конкуренції на ринку та представимо результати у таблиці 6.7.

Таблиця 6.7 – Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)
1. Олігополія	Існує досить багато організацій які займаються встановленням теплового насосу на підприємствах.	Необхідно залучити досить масштабну рекламну компанію та займатися залученням нових клієнтів.
2. Національний	В Україну імпортуються якісні товари з інших країн.	Підтримувати якість виробництва на рівні з іноземними виробниками.

Проведемо аналіз конкуренції в галузі за моделлю 5 сил М. Портера. Результати представлені у таблиці 6.8.

Таблиця 6.8 – Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
Складові аналізу	Патенти на товар; наявність товарних знаків; гнучкі ціни; розміри капіталовкладення; доступ до ресурсів.	Гнучкі ціни; Капіталовкладення; Доступ до ресурсів.	Значення розміру поставок для постачальника; концентрація постачальників. Змінні витрати постачальника.	Розміри закупівель; продуктова лінія; інформаційне забезпечення; Динаміка галузі.	Ціна; змінні витрати; лояльність споживача

#### 4 Розроблення ринкової стратегії проекту

Розроблення ринкової стратегії першим кроком передбачає визначення стратегії охоплення ринку: опис цільових груп потенційних споживачів наведено у таблиці 6.9.

Таблиця 6.9– Вибір цільових груп потенційних споживачів

Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
Потенційний клієнт - школа	Тема енергозбереження та використання альтернативних джерел енергії набуває все більших масштабів, тому тепловий насос у школі є достатньо актуальним питанням.	Небагато шкіл готові до встановлення альтернативних джерел енергії, тому конкуренція є досить невисокою.	Згідно того, що конкуренція серед шкіл не велика, увійти до даного сегменту(встановлення теплового насосу) не є проблемою.

Наступним кроком є вибір стратегії конкурентної поведінки, що наведено у таблиці 6.10.

Таблиця 6.10 – Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

Чи є проект «першопрохідцем» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?
Проект не є «першопрохідцем», адже вже є школи, у яких використовується тепловий насос.	Школа буде обирати конкурентоспроможні компанії, які зможуть зацікавити у співпраці.	Клієнт буде орієнтуватися на технічні складові теплового насосу та обере найбільш відповідний вимогам школи.

## 5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Наступним кроком є визначення цінових меж, якими необхідно керуватись при встановленні ціни на потенційний товар. Результати аналізу наведено у таблиці 6.11.

Таблиця 6.11–Визначення меж встановлення ціни

Рівень цін на товари-замінники	Рівень цін на товари-аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу
Від 100 тис до 1 млн	Від 50 до 500 тис	80 тис грн	Від 100 тис до 1 млн грн

Останньою складовою маркетингової програми є розроблення концепції маркетингових комунікацій, що представлена у таблиці 6.12.

Таблиця 6.12 –Концепція маркетингових комунікацій

Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти	Завдання рекламного повідомлення
Клієнт зацікавлений у якості товару, яка відповідає ціні.	Мережа Інтернет, телебачення, постери, інші клієнти.	Донести до потенційного клієнта важливість та необхідність встановлення теплового насосу необхідної фірми.

## ВИСНОВКИ

1. За статистичними даними по споживанню теплової, електричної енергії та води, наданими Солом'янською адміністрацією, за 2017 рік школа № 324 спожила теплової енергії – 640,32 Гкал, електричної енергії – 83894 кВт·год та води – 7193,38 м<sup>3</sup>.

2. Аналіз споживання енергоносіїв показав, що за опалювальний період школа має низьку температуру в приміщеннях та недотопи.

Економія після впровадження заходів з енергозбереження теплової частини:

1. Утеплення стін – 149,8 Гкал/рік.
2. Заміна вікон – 17,07 Гкал/рік;
3. Улаштування теплоізоляційного рефлектора – 0,726 Гкал/рік;
4. Утеплення даху – 277 Гкал/рік.

3. Аналіз системи електропостачання школи показав недоліки в системі кондиціонування, системі освітлення та системі подачі гарячої води.

Економія після впровадження заходів з енергозбереження електричної частини:

1. Заміна кондиціонерів – 3651 кВт·год/рік;
2. Встановлення датчиків присутності – 17920,3 кВт·год/рік;
3. Заміна ламп розжарювання на LED лампи – 17218,9 кВт·год/рік;
4. Відключення бойлера у вихідні та святкові дні, канікули та нічний час – 34656 кВт·год/рік.

4. Сумарна оцінка річної економії енергії від запропонованих заходів може скласти:

- електроенергія – 73446 кВт·год/рік;
- тепла енергія – 444,6 Гкал/рік.

5. Встановлення п'яти теплових насосів типу «повітря-вода» фірми EVIPOWER CH-HP31UMNM потужністю  $N = 31,1 \text{ кВт}$  та додаткового джерела – електричного котла фірми Dakon DALINE потужністю 36 кВт

дає річну економію теплової енергії, що становить – 484 Гкал/рік. Капіталовкладення з урахуванням термомодернізації школи складатимуть – 6 млн грн.. Даний тип теплового насосу не потребує земляних робіт та місця для ґрунтового колектора.



## ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Вести [Електронний ресурс]. – Режим доступу: URL <https://vesti-ukr.com/kyiv/300605-v-kyive-postroili-pervuju-v-ukraine-umnuju-shkolu>.
2. Г.Фаренюк, М.Тимофєєв,Є.Фаренюк,П.Павлюк: Теплова ізоляція будівель: ДБН В.2.6-31:2016 – [чинний від 2016-08-07] , 2016. - 33с. – (Державні будівельні норми України).
3. В.В. Дубровська, В.І. Шкляр: Визначення теплового навантаження будівель та вибір системи тепlopостачання: навчальник посібник –Київ: НТУУ «КПІ», 2011. – 117 с.
4. Будівельна кліматологія: ДСТУ-Н Б В.1.1 – 27:2010– [чинний від 2011-11-01], 2011. – 132с. – (Національний стандарт України) .
5. Г.Фаренюк, Є. Колесник,Є.Фаренюк : Метод розрахунку енергоспоживання при опаленні, охолодженні, вентиляції, освітленні та гарячому водопостачанні: ДСТУ-Н Б А.2.2-12:2015– [чинний від 2016-01-01] , 2016. – 145с. – (Національний стандарт України).
6. Г.Фаренюк,Є.Фаренюк,П.Павлюк, Є. Колесник: Методи вибору теплоізоляційного матеріалу для утеплення будівель: ДСТУ Б В.2.6-189:2013– [чинний від 2014-01-01] , 2014. – 51с. – (Національний стандарт України).
7. Теплопровідні включення в будівельних конструкціях. Обчислення теплових потоків і поверхневих температур: ДСТУ ISO 10211-1:2005– [чинний від 2008-03-01] , 2008. – 42с.
8. Теплокомфорт [Електронний ресурс]. – Режим доступу: URL <http://teplokomfort.kiev.ua>.
9. 27.ua [Електронний ресурс]. – Режим доступу: URL <https://27.ua/shop/okna-plastikovye-pvkh>.
10. Наша стройка [Електронний ресурс]. – Режим доступу: URL <https://nasha-stroyka.com.ua>.
11. ISOVER [Електронний ресурс]. – Режим доступу: URL <https://vist.kiev.ua>.

12. Природне і штучне освітлення: ДБН В.2.5-28-2006 – [чинний від 2006-15-05] , 2006. – 96с. – (Державні будівельні норми України).
13. Сервис «Онлайн электрик» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: URL <https://online-electric.ru>.
14. Кабельний завод Энергопром [Електронний ресурс]. – Режим доступу: URL <https://energoprom.net.ua>.
15. ДТЕК «Київські електромережі» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: URL <https://dtek-kem.com.ua/ru>.
16. ROMSTAL [Електронний ресурс]. – Режим доступу: URL <https://romstal.ua>.
17. Instal Trade [Електронний ресурс]. – Режим доступу: URL <https://www.instaltrade.com.ua>.
18. Cooper&Hunter [Електронний ресурс]. – Режим доступу: URL <http://cooperandhunter.ua>.
19. Solar soul. Грунтовые теплообменники [Електронний ресурс]. – Режим доступу: URL <http://solarsoul.net>.
20. Системи електропостачання: довідкові дані до виконання практичних занять, контрольних робіт, курсового проекту – Київ: НТУУ «КПІ», 2014. – 17 с.